

المياه الجوفية والآبار

Ground Water And Wells

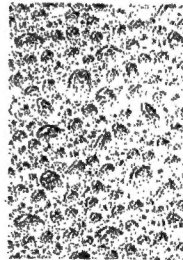
مهندس استشاري

محمد احمد السيد خليل



المياه الجوفية والآبار

Ground Water And Wells



مهندس استشاري

محمد احمد السيد خليل



رقم الإيداع بدار الكتب : ٢٠٠٣/٢٦٤٧
التسجيل الدولي : ٦-٢٩٩-٢٨٧-٩٧٧

© حقوق النشر والطبع والتوزيع محفوظة لدار الكتب العلمية للنشر والتوزيع - ٢٠٠٣
لا يجوز نشر جزء من هذا الكتاب أو إعادة طبعه أو اختصاره بقصد الطباعة أو
احتضان مادته العلمية أو نقله بأي طريقة سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو
خلاف ذلك دون موافقة خطيه من الناشر مقدماً .

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ربحان - عابدين - القاهرة
٧٩٥٤٢٢٩ ☎

لزيادة من المعلومات يرجى زيارة موقعنا على الإنترنت

www.scientificbookhouse.com
e-mail: sbh@link.net



تقديم :

إن محدودية الوارد المائية في مصر والتي تتمثل في حصة مصر من مياه النيل وهي ٥,٥٥ مليار متر مكعب في العام ، يحتم البحث عن موارد إضافية لتلبية متطلبات التوسع الزراعي والتنمية والإعاشة لاحتياجات الزيادة المستمرة في عدد السكان . المورد المتاح والاقتصادى والذي يمكن من الزيادة في الموارد المائية هو المياه الجوفية . ففي مصر ستة خزانات جوفية منها خمسة خزانات جوفية في المناطق الصحراوية وفي تخوم الدلتا والوادي ، تشغل هذه الخزانات الجوفية ما يزيد عن ٦٠% من مساحة مصر . ولهذا فإن استغلال الخزانات الجوفية هو الوسيلة الوحيدة لزيادة المساحة الآهلة بالسكان في مصر من ٦% كما هو الوضع الحالى حيث الكثافة السكانية العالية إلى ٢٥% وهو المستهدف للخروج من الوادي الضيق إلى تخوم الدلتا والوادي والمناطق الصحراوية .

إن الاستغلال الآمن للخزانات الجوفية يحتاج إلى دراسات هندسية متخصصة . ولهذا تم إعداد هذا الإصدار باللغة العربية حيث تم تناول الموضوعات المتعلقة بالخزانات الجوفية والآبار . وبما يفيد العاملين في هذا المجال من المهندسين وكذلك الدارسين والباحثين في توفير الإنتاج الآمن والمستمر للمياه الجوفية .
والله الموفق

مهندس استشارى

محمد | احمد السيد خليل





الفصل الأول

معلومات أساسية
عن التربة والمياه الجوفية



التربة الحاملة للمياه الجوفية

١- خواص الصخور والتربة (Rock And Soil)

الخواص الطبيعية والجيولوجية للمجال الذى تتسرب فيه المياه الجوفية تؤثر على نوعية المياه الجوفية ومسارها . يمكن التعرف على هذه الخواص بدراسة الأصل الجيولوجى لهذه المكونات وكيفية تكوينها ، وهذه المكونات التى سيتم مناقشتها حيث ستتحرك المياه الجوفية خلالها ، تشمل الصخور والتربة المتكونة أصلاً من الصخور والتى تعرف أحياناً بالصخور الغير متماسكة (Unconsolidated rocks) .

تكوينات الصخور ، Rock Formations

الصخور كانت ولا زالت تتكون باستمرار نتيجة عمليات طبيعة مختلفة ، مثل التبريد للصخور المنصهرة فى شكل مصهور ساخن (magma) والتى تتسرب من أعماق كبيرة تحت سطح القشرة الأرضية ، ترسيب المواد الغير عضوية فى الماء والبحار من مختلف الكائنات الحية ، تكثيف مختلف الغازات المحتوية على جسيمات معدنية، تفتت صخور أخرى لأسباب مختلفة ثم التراكم التالى للتكوينات الناتجة لتكون أنواع جديدة من الصخور وكذلك نتيجة زيادة الضغوط على الصخور المتكونة . يمكن تقسيم الصخور على أساس الأصل كصخور نارية أو بركانية (Igneous) أو صخور رسوبية (Sedimentary) أو صخور متحولة (Metamorphic) .

كلاً من هذه الأنواع من الصخور له الشكل العام المميز من ناحية التكوين ، المظهر ، المكونات . بعض الأنواع الرئيسية سيتم مناقشتها .

الجرانيت (Granite) : الجرانيت هو صخر بركانى أو نارى ، لون الجرانيت يتغير من رمادى فاتح إلى الأحمر الغامق ، يتكون أساساً من الفلدسبار (Feldspar) إلى ٦٠% ، الكوارتز ٢٠% ، الميكا ، الهورنبلند Hornblend (نوع من الصخور القلبية). تركيب الجرانيت عادة صلب ومتماسك وينقسم إلى كتل ضخمة ، ولكن التلاصق القريب جداً يعطى شكل المسطح.

الصخور البركانية (Volcanic Rocks) : وهى صخور نارية ، وهذه قد تكون صلبة أو تكون محتوية على مواد مفككة لها نفازيه مثل الرمال والأحجار المسامية المتكونه من رماد البراكين (tuff) أو من رماد البراكين (ashes) . البازلت (Basalt) مثال للصخور البركانية ولونه يختلف من الرمادى الغامق إلى الأسود ويتميز بعدم وجود الكوارتز وتوفر البلاجيوكليز (Plagioclase) وهو نوع من الفلسبار ، ووجود كميات كبيرة من البيروكسين (Pyroxine) وهو مركب من سيليكات المغنسيوم والكالسيوم ، الأوليفين (Olivine) وهو الزبرجد الزيتونى . وعموماً فإن البازلت يتكون من حبيبات رقيقة . أهم مظاهر تكوينات البازلت هو التوصليل العمودى (Columnar Jointing) والذى يتكون غالباً فى شكل سداسى (Hexagonal) . البازلت المفكك يكون له لون الصدا .

الحجر الرملى (Sandston) : وهو من الصخور الرسوبية ، الحجر الرملى له مظهر ما بين الحبيبات الرقيقة والخشنة المتماسكة أو المتداخلة . الكوارتز يشبه الحجر الجيرى (Limestone) ولكن أشد صلابة ويحتوى على كميات متساوية من الفلدسبار والكوارتز . ويوجد نوع من الحجر الرملى المسمى (Gray Wacke) له لون ما بين الرمادى الغامق والأسود وهى عبارة عن حجر رملى ملتصق بالسيليكا أو الطفلة أو الطين الصلصال (Clay) . وقد تحتوى من الجرى ويك (Gray Wacke) على شرائح من المحار أو الازدواز Slate وهو صخر سهل قطعة .

الحجر الجيرى (Lime Stone) : وهو من الصخور الرسوبية وله مظهر ما بين السناعم والخشن وقد يكون لونه أبيض أو أصفر أو بنى أو رمادى أو كل هذه الألوان مجتمعة . يتكون الحجر الجيرى أساساً من كربونات الكالسيوم وفى حالة عدم وجود انقسامات أو مجارى للانصهار يكون مانع للنفاذية أو قد يكون ذو مسام وله مظهر مفكك . يعتبر الطباشير والمارل (Marl) من أحد أشكال الحجر الجيرى الأخرى (المار هو طين غنى بكربونات الكالسيوم يستعمل

(مصاد) .

المحار (Shales) وهو رسوبي : وهي صخور مكونة من غالباً ما تكون ذات لون غامق . تتكون من حبيبات في حجم حبيبات الطفلة وفي بعض الأحيان من حبيبات في حجم حبيبات الرمل والطفلة . المحاور يتراوح في قوته ما بين الليونة أو الصلابة طبقاً لشكل الحبيبات وخصائصها ودرجة إنماجها والتصاقها .

المختلطة Conglomerate رسوبية : الشكل العام يختلف ما بين الحبيبات الناعمة والخشنة ما بين المتلاصقة المفككة ، عادة ١٠% أو أكثر من الحبيبات يكون خشن وكبير من خشونة الرمال .

الشست (Schist) : وهو من الصخور التحولية . الشست صخر متبل ينغلق إلى طبقات وإن كانت هذه الطبقات (Foliation) لا تكون مرئية بالعين المجردة . بعض أنواع الشست يتكون كلية من السيليكات مكوناً كتلة كبيرة . عادة مستويات الفلوق المغمورة تختلف عند عمق الكتلة .

الإرلاز (Slate) : صخور تحولية ، وهذه صخور طبقية ذات ملمس ناعم جداً . وهي ذات لون غامق أسود ويسهل برزها .

يحدث للصخور دورة جيولوجية تحتوي على ثلاث تأثيرات غالباً ، التعرية (Denudation) ، الترسيب (Deposition) ، حركة الأرض . مكونات سطح التربة يكون نتيجة هذه التأثيرات المستمرة ، مكوناً الجبال ، الوديان ، الأنهار ، البحيرات ، بحور الرمال ، المسهول ، الأخاديد (Gullies) والظواهر ذات الأشكال الجغرافية الطبيعية الأخرى . تكون التعرية بسبب التغير الحاد في درجات الحرارة وتأثيرات الرياح والمياه . تتميز الصخور بهذه التأثيرات يشمل الإزالية والترسيب والبرى ونقلت الحبيبات . ناتج هذا التفتت يتم نقلها بواسطة الماء و / أو الرياح وبالتالي تنقل وترسب في أماكن أخرى . من الناحية الجيولوجية فإن بعض هذه النواتج التي تكونت وتحركت بأنهار الجليد، تحدث لتحركات الأرضية بسبب عدم تماوى للضغوط نتيجة المراحل

المستدرجة للستربة والترسيب . تستمر التحركات حتى الوصول إلى حالة الإتزان (الاستقرار) . الحالات البركانية يمكن اعتبارها نتيجة التحركات الأرضية .

تكوين التربة (Soilformation) :

تعرف نواتج تفتت الصخور بالصخور المفتتة أو الغير متماسكة (unconsolidated) . يمكن تعريف التربة بأنها المادة التي تفتت إلى حبيبات مستقلة بواسطة الأدوات الميكانيكية البسيطة مثل التقلب في الماء أو بتسليط ضغط منخفض . الصخور المتأثرة بالعوامل الجوية تكون أضعف في قوتها عن التربة ، إلا أنها كصخور نظرا لحفاظتها على كل ظواهر الصخر عدا التماسك . سطح الصخور المعرض يعرف بالبروز للخارجي (outcrop) ، حتى وإن تم تغطيتها بعد ذلك برواسب الرمال .

يمكن أن تنقسم للتربة طبقا لطريقة تكوينها إلى رسوبية أو متقولة .

التربة المختلفة أو الباقية (Residual Soils)

الستربة المختلفة تكون فوق الصخور الأصلية مباشرة التي تكونت منها بسبب تأثيرات العوامل الجوية . سمك للتربة المختلفة الناتجة عن الصخور النارية أو التحولية من المتوقع أن يكون صغير نظرا للمقاومة العالية لمثل هذه الصخور للعوامل الجوية . ولكن المقاومة الضعيفة للحجر الجيري للإذابة نتيجة وجود تقو و تجاويف ، وقنوات ، مجارى تحت الأرض بالإضافة إلى للتربة المختلفة - عميقة فإن سمك الستربة المختلفة يتراوح ما بين ١,٥ متر إلى ١٥ متر طبقا للظروف المناخية المحلية والظروف الطبوغرافية الطبيعية .

خواص التربة Soil Properties

تستخدم لمباحث للتربة تقسيمات للتعرف الأولى على التربة . وهذه توفر لغة واحدة ما بين الموقع والمعمل . طرق للتقسيم المتاحة على المظهر والقولم . وهذه تعتبر الخطوة الأولى التي يبنى عليها التخطيط للاختبارات والمباحث .

التعرف على التربة والاختبارات الأساسية .

يمكن التعرف على التربة من الشكل العام كزلط ، رمل ، الطفلة silt ، الطمي (clay) للتربة الطبيعية تتكون من واحد أو أكثر من هذه الأنواع وقد تحتوى على نسب متغيرة من المواد العضوية . ولذلك فإن الطفلة تعرف بالطفلة الرملية أو الطفلة الزلطية أو الطفلة المحتوية على مواد عضوية أو طفلة فقط . معظم الأنواع يتم التعرف عليها بحجم الحبيبات . فمثلاً حجم حبيبات الزلط يتراوح ما بين ٣ مم إلى ٧٥ مم طبقاً للاختبارات القياسية جدول (١/١) للحبيبات الأكبر تسمى حبيبات (granulas) . والحبيبات الكبيرة جداً أكثر من ٣٠ سم تسمى الجلود (Boulders) مثل الموجود فى ساحات التربة الجليدية . الأجسام من الزلط أو الرمل يمكن التعرف عليها بالعين المجردة أو باللمس ، بينما حبيبات الطفلة (Silt) والطين (Clay) يمكن التعرف عليها فقط بالطريقة الميكروسكوبية وغالباً ما يتم بطريقة الميكروسكوب الإلكتروني ، كل من الزلط والرمل ينتمى إلى المجموعة الخشنة بينما الطفلة والطين تنتمى إلى المجموعة الناعمة ، حبيبات التربة الخشنة عادة غير متماسكة بينما للتربة الناعمة يكون لها لدونة (Platicity) بسبب التصاق حبيباتها (عدا بعض أنواع الطفلة ذات الحبيبات الغير متماسكة مثل بودة الصخر Rock Floor) .

الأنواع الرئيسية للتربة للناعمة هي الطفلة الغير عضوية (لدنة وغير لدنة) الطمي الغير عضوى ، الطفلة العضوية ، الطمي العضوى ، الطفلة لللدنة ، تحتوى على حبيبات صغيرة جداً على شكل قشور أو صفائح أو إبر .

كلاً من الطفلة لللدنة والطين يتكون من حبيبات بلورية لها خاصية الغرويه (Colloidal) وهى اللدونة والاتصاق والقدرة على امتصاص الأيونات . بعض الطفلة غير البلورية . المواد العضوية تحتوى على مواد عضوية ناعمة جداً مثل النباتات المتآكلة والكائنات الدقيقة والمحار . يتغير لون للتربة ما بين رمادى غامق إلى الأسود طبقاً لكمية المواد العضوية وتاريخ تحللها . فى حالة وجود كميات صغيرة من المواد العضوية يمكن الكشف عنها بالرائحة عند التسخين للتربة والكميات من المواد

العضوية تكتشف بالراحة بدون تسخين . عادة ليس من الضروري التفريق بين الطفلة العضوية والطمي العضوي حيث يعرف كليهما عادة بالتربة العضوية . مثل هذه التربة لها درجة لتضخا ط عالية .

جدول (١-١) مقارنة مراحل تقسيم التربة

قطر الحبيبات طبقا للنظام الأمريكي عام ١٩٧٠

قطر الحبيبات بالمليمتر

قطر الحبيبات بالمليمتر	١٠٠	٢	٠,٠٠٥	٠,٠٠٢	٠,٠٠١
نوع مادة التربة	رمل	طفلة	زاط	طمي غروي	

نظراً لعدم إمكان التمييز ما بين الطفلة والطمي فإنه ينفذ اختبار يدوي بسيط للتعرف على التربة ذات الحبيبات الناعمة جدول (١-٢).

جدول (١-٢) الاختبار الميداني اليدوي للتربة ذات الحبيبات الناعمة

نوع التربة	التربة في حالة الحطام	صلابة شريط لسان
طفلة رمليه	لا شيء حتى ضعيف جداً	ضعيف إلى هش
طفلة	ضعيفة جداً إلى ضعيفة	ضعيف إلى هش
طمي طفلي	منخفض إلى متوسط	متوسطة
طفلة طينية	متوسط إلى عالي	متوسطة
طفلة	عالي إلى عالي جداً	صلب
طفلة عضوية	منخفض إلى متوسط	ضعيف إلى هش

الاختبارات العملية للتربة .

التمييز العملي لمتوسط الكثافة لحبيبات التربة .

يتم للتربة المحتوية على مواد عضوية أو مواد معدنية . التربة العضوية لها كثافة مختلفة وهي عادة أقل من ٢ ولكن للكلواثر (الرمل) له كثافة نوعية ٢,٦٦ ، الطفلة الغير عضوية لها كثافة ما بين ٢,٣ إلى ٢,٩ . للجدول يوضح كثافة بعض أنواع للتربة .

جدول (١-٣) كثافة بعض أنواع التربة .

المادة	الكثافة
الجبس	٢,٣٢
الكاولين	٢,٦
الكولتر	٢,٦٦
المستك	٢,٧
الكالسيوم	٢,٧٢
الدولوميت	٢,٨٧
الليمونيت	٣,٨
الهيماتيت المائي	٤,٣ +
الماجنيتيت	٥,١٧
الهيماتيت الجاف	٥,٢

اختبارات حجم الحبيبات يحدد بطريقة التدرج . نتائج هذه الاختبارات توضح الخصائص الطبيعية للتربة وتفيد في (١) التعرف على تقسيم التربة والطرق المناسبة لتثبيت التربة لطبقة الأساس للطرق (٢) تصميم المرشحات وتدرج المرشحات (٣) معرفة ترسيبات التربة لنفس الأصل الجيولوجي . وهذه الاختبارات تكون إما تحليل المنخل الميكانيكي (Sieve Analysis) الذى يناسب للتربة ذات الحبيبات الخشنة ، اختبارات التربة للرطبة تجرى على للتربة للناعمة أو لاختبار التربة للناعمة والخشنة .

جدول رقم (١-٤)

جدول (١-٤) رقم المنخل

رقم المنخل	بوصة	مليمتر	رقم المنخل	قطر الحبيبات (بوصة - مليمتر)
٣	٠,٢٥	٦,٣٥	٣٠	٠,٠٢٢٢
٤	٠,١٨٧٤	٤,٧٦	٤٠	٠,٠١٦٥
٦	٠,١٢٢٣	٣,٣٦	٥٠	٠,٠١١٧
٨	٠,٠٩٣٧	٢,٣٨	٦٠	٠,٠٠٩٨
١٠	٠,٠٧٨٧	٢,٣٨	٧٠	٠,٠٠٨٣
١٦	٠,٠٤٦٩	١,١٩	١٠٠	٠,٠٠٥٩
٢٠	٠,٠٣٣١	٠,٨٤	١٤٠	٠,٠٠٤١
			٢٠٠	٠,٠٠٢٩

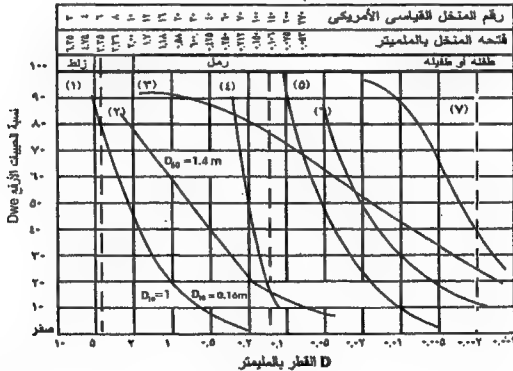
توزيع حجم الحبيبات يمكن توضيحه فى شكل منحنيات حيث لو غار يتم القطر يوضح مقابل النسبة الأتعم من D شكل (١-١) . القطر الذى يقابل ١٠% أتعم يعطى له الرمز D_{10} الذى يعرف بالقطر المؤثر للتربة . الأقطار اكبر من D_{90} تكون ٩٠% من

الزلط (الركام) والأصغر من D_{10} الاتزان . يستخدم القطر المؤثر لحساب التوصيل الهيدروليكي للرمال للقطر المؤثر للرمال النظيف (المحتوى على أقل من ٣% مواد ناعمة) يعتبر حجم متجانس مثالي لمادة متكونة من حبيبات مستديرة المحققة لنفس الخصائص الهيدروليكية للتربة الطبيعية .

يستخدم للقطر المؤثر D_0 لتعيين درجة التجانس للتربة . ويعبر عنها بمعامل التجانس

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \text{معامل التجانس}$$

حيث D_{60} هو حجم الحبيبات التي عندها نسبة ٦٠ ناعم ، (حجز ٤٠% بالوزن) D_{10} هو حجم الحبيبات التي عندها نسبة ١٠% ناعم (حجز ٩٠% بالوزن). عندما يكون معامل التجانس أكبر من ٤ إلى ٥ تعتبر التربة جيدة للتجانس حيث تغطي أحجام مختلفة وأنواع تربة مختلفة . في حالة منحنى التدرج غير مستمر ومتداخل بجزء مستقيم توصف التربة بوجود فاصل في التدرج ، أي تفقد إلى أقطار تربة متوسطة (مثال خليط من الرمال خشن وطينة) .



شكل (٧-١) منحنى توزيع حبيبات التربة (١) زلط رفيع (٢) حصى (٣) حصى وطنين (٤)

- رمال (٥) رمال جليدي (٦) طفلة طينية (٧) طينه مقلية
- قيمة D_{60} , D_{50} , D_{30} , D_{15} , D_{10} مفيدة عملياً عند تقسيم التربة وكذلك عند تصميم المرشحات .
- المحتوى الطبيعي من الرطوبة في التربة هي النسبة ما بين وزن الماء في العينة إلى الوزن الجاف للعينة . الوزن الجاف يقدر بعد التجفيف .
 - يوصف قوام التربة ذات الحبيبات الناعمة عادة في لوغاريتم الحفر كالتالي : جداً ، لينة ، متماسكة (أو متوسطة) ، صلب ، صلب جداً ، صلب للغاية ، ويوصف القوام لطين للصصلال كما في الجدول (٥-١) .

جدول ٥-١ التعبير لتمييز القوام الطمي

القوام	التعريف للميداني	قوة الضغط / طين / طين حفر
لين جداً	يفترق عدة بوصات بضغط اليد	أقل من ٠,٢٥
لين	يفترق عدة بوصات بالإصبع	٠,٢٥ - ٠,٥
متوسط	يفترق عدة بوصات بالإصبع مع جهد متوسط	٠,٥ - ١,٠
متماسك	يفترق بصعوبة بالإصبع مع جهد كبير	١,٠ - ٢,٠
متماسك جداً	يفترق الإصبع	٢,٠ - ٤,٠
صلب	يفترق بصعوبة بإصبع اليد	أكبر من ٤

مكونات طين الطين Clay Minerals [الطفلة]

يتكون طين الصلصال أساساً من سيليكات الألومنيوم مع المغنسيوم أو الحديد بدلا من الألومنيوم جزئياً أو كلياً مع كميات مختلفة من المواد القلوية والأملاح المذابة. حبيبات الطين الصلصال عبارة عن قشور متكونة من ذرات منظمة في وحدات متكررة التي تكون إما صفائح من السيليكات أو الألومينا . مكونات طين الصلصال تتكون من صفائح من السيليكات والألومينا كما في حالة الكاولين (kaoline) أما الإيليتز فيتكون من صفائح الألومينا بين صفائح مرتبطة ببعضها بتفكك وتوجد أنواع أخرى . منها سميكتيت (smectite) مثل الكاولين والإيليتز (illites) .

مواد الطين لها خاصية إمتصاص بعض الأيونات (ذات الشحنة السالبة) والكاتيونات ذات الشحنة الموجبة . إزالة ملوحة المياه باستخدام الزيوليت مثال للتبادل

الأيونى عملية التبادل الأيونى تتم فى محلول مائى أو فى مجال غير مائى .

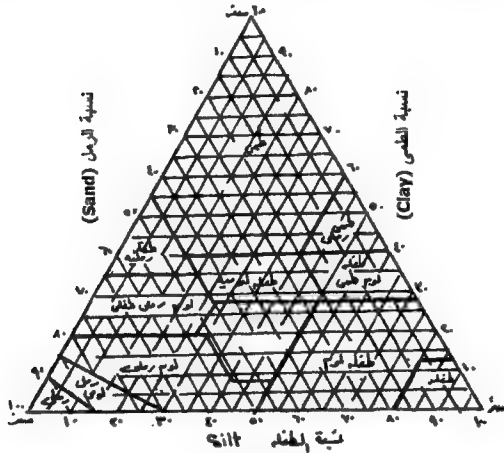
طمسى الكاولين يقاوم دخول المياه وبالتالي لا يزداد حجمه أو ينتفخ أو يتغير حجمه مع التشبع أو للجفاف . سميكتايتس smectites مادة غير مستقرة حيث الصفائح متجاورة ومفككة حين تدخل المياه بين الصفائح . وهذا يسبب انتفاخ مادة طمسى السميكتايتس فى الماء والانكماش بعد الجفاف ، ويرجع لذلك ظاهرة لدونة هذه المادة والبتونايت هو طمسى السميكتايت . المستخدم فى حفر آبار وكماشة تحشيه (grouting) رغم أن نفاذية الطمسى ٥٠% أو أكثر ، فإنه غير نفاذ مقارنة بالرمال ذات النفاذية الأقل .

نظم لتقسيم التربة: Soil Classification Systems

يوجد العديد من نظم التقسيم للتربة ولكن لا يوجد نظام عالمى موحد للتقسيم ولذلك ينصح باستخدام أكثر من نظام تقسيم للحصول على المعلومات الأولية الكافية . يمكن تقسيم النظم الرئيسية للتقسيم كالاتى :

النظم الأساسية للتكوين (Textural System)

الحدود العليا والسفلى فى هذا النظام لكل من الزلط ، الرمل ، الطفلة ، الطمسى ، مجموعة الأقطار يعبر عنها بنسبة مئوية للوزن الكلى للعينة . كما هو واضح فى الشكل (١/٢) نجد أن ركام التربة يسمى على أساس نسبة الرمل ، الطفلة ، الطمسى (بنون للزلط) . حيث تسمى للتربة رمل ، طفلة ، طمسى ، تربة مكونة من رمل وطفل وطمس ومادة عضوية تسمى (loam) . وتربة رملية طميية طفليه ، تربة طفليه طمييه، ... الخ . ولعمل هذا التقسيم يستخدم منحى للتدرج . يستخدم الشكل المثلى لتحديد محورين فى الاتجاهات الموضحة (٢-١) كما يوجد معدل قياسى للتكوين فى الجدول (١-١) .



شكل (١-٢) مخطط التقسيم الثلاثي

Loam (لوم) تربة من الرمل والطين وبعض المواد العضوية

Silt طملة

Clay طي

clay نظام التقسيم طبقاً لطبقات التربة Pedologic Classification System

مجموعات المادة في هذا النظام تقسم على أساس التكوين ، الصرف (Drainability) ، الحموضة أو القلوية . وهذا النظام مبني على أساس أن مادة التربة المتشابهة (التربة الأصلية) عند التعرض لظروف مناخية وزمنية وطبوغرافية متشابهة فإنها تكون شكل متشابه للتربة . في المناطق حيث يمكن الصرف فإن للتربة تتكون من ثلاث طبقات محددة وهي A , B , C وأحياناً الطبقة D إلى أسفل شكل (١/٣) .

طبيعية و / أو صناعية . إدارة المياه الجوفية تتطلب الأبحاث بدقة لخصائص التربة أو الصخور ، كل منها تمثل وحدة تكونت تحت ظروف جيولوجية متشابهة . في حالة إمكان الحصول على كميات المياه الكافية بالطريقة الاقتصادية لحاجة الإنسان والحيوان في هذه الحالة تسمى تكوينات التربة ، للتربة الحاملة للمياه أو الخزان الجوفي (Water Bearing Formation or An Aquifer) سواء كانت التربة من الصخر أو من رمال التربة أو من كليهما . ولهذا فإن طبقة الطمي المشبعة بالماء لا تسمى بالخزان الجوفي رغم أنها تحتوى على كميات من المياه أكثر من طبقة رملية بنفس السمك .

نوعية المياه عامل هام في استخدام المياه الجوفية . المياه في الطبيعة ليست نقية، حيث تحتوى المياه على مواد عالقة وأملاح مذابة تجعلها غير مناسبة للاستخدام الآمى أو للزراعة أو فى الصناعة . تتأثر نوعية المياه فى الطبيعة بعدة عوامل (١) البيئة الطبيعية مثل كمية للصخور والتربة والمواد المذابة في المياه الجوفية (٢) التأثير بفعل الإنسان مثل حقن مياه الصرف فى الخزان الجوفى . نتيجة لنشاط الإنسان الماضى والحاضر لا يمكن أن تتأثر نوعية المياه بعامل واحد .

التكوينات الحاملة للمياه ، (Water Bearing Formations)

عند دراسة المياه الجوفية ، فإن تكوينات الصخور فى التربة الحاملة أهم من شكلها العام . حيث وجود الفوالق والشقوق خلال التكوينات يزيد من نفاذية هذه الصخور . الانقسامات المفتوحة أو المغلقة فى الصخور فى شكل وصلات أو كسور تعتبر ظواهر هامة فى هيدرولوجية المياه الجوفية . الوصلات أو الشقوق التى يبدو من منظرها أنها تعمل على كسر الصخر إلى مكعبات أو كتل منتظمة ، بينما قد يستمر الكسر فى أى اتجاه. ورغم أن الصخور مائعة لنفاذ المياه إلا أن هذه الشقوق والجيوب .. الخ تعطى التكوينات الصخرية طاقة عالية فى احتواء المياه .

الأنواع الرئيسية للتكوينات الحاملة للمياه :

- الخزان الجوفى Aquifer

الشكل (١-٣) يوضح مقطع لتكوينات تربة غير صماء (AB Pervious) محصورة بين طبقتين غير سميكيتين نسبياً من تربة مدمجة صماء (Impervious) (كتلة صخرية) تسمى طبقات محصورة (Confining Beds) التي تعمل كحاجز يمنع الاختراق للسائل للمياه خلالها. الطبقة العليا للصماء من هذا الشكل تعلوها طبقة متجانسة من التربة والتي تمتد إلى أعلا حتى سطح الأرض. كل الطبقات معرضة عند نهايتها الحرة إلى البحر. الشكل (١-٣) يوضح خزانين جوفيين AB و CD. درجة إنتاجية المياه من الخزان الجوفى تتوقف على درجة إعادة الشحن الطبيعي للمياه (Recharge)، الخواص الطبيعية والكيميائية للخزان الجوفى والحدود الهيدرولوجية، الزراعات، الأنشطة السكانية. سهولة اختراق الماء خلال تكوينات للتربة تعرف نفاذية التربة (Soil Permeability). ولذلك فإن كل الخزانات الجوفية يجب أن يكون لديها درجة عالية نسبياً من النفاذية.

الخزانات الجوفية ذات التربة الحاملة الزلطية هي الأكثر إنتاجية. الخزانات الرملية المتجانسة (ذات معامل تجانس أقل من ٦ أى نسبة ٦٠% الماء فى فتحة المنخل رقم ٣٠ (٠.٥٩ جم) إلى نسبة الماء فى فتحة المنخل رقم ٦ (٣.٣٦ مم) (جدول ٤) ($\phi = \frac{30}{6}$) تكون أقل إنتاجية. الخزانات الجوفية المتكونة من الزلط والرمل والرمال الرفيع أو من خليط من الرواسب الطفولية للرغوية (Alluvial) المحتوية على الطفلة بنسبة صغيرة ونواتج عوامل التعرية والظروف المناخية والجوية على الصخور تعتبر هذه من بين الخزانات الجوفية الأقل إنتاجية. عمق الخزان الجوفى كذلك يعتبر عامل هام فى درجة إنتاجيته. يتضح أن الرواسب من الرمال الرفيعة المشبعة العميقة كمثال تنتج مياه أكبر لبئر أكثر من طبقة رقيقة من الزلط الخشن. الخزانات الجوفية من الرمل والزلط بها كميات صغيرة أو ليس بها أجسام رقيقة تكون منتجة جداً.

يحدث هذا عادة فى التربة من الطمي أو الغرين (Alluvium) القريبة من أو أسفل مجارى الأنهار. ويحدث كذلك فى الوديان المدفونة، جذب الأنهار المعرضة للفيضان، الوديان والمسطحات بين الجبال. يمكن سحب كمياه وفيرة من المياه من

الحجر الجيري (Lime Stone) نتيجة وجود قنوات ، كهوف ، شقوق . البئر المحفور في خزان جوفى من الحجر الجيري بناء على ذلك سوف يتقاطع مع واحد أو أكثر من هذه الفتحات . وبالمثل فى صخور الحمم البركانية (Lava Rocks) تؤخذ المياه من المياه المخزنة في الفراغات والوصلات المفتوحة وللتشققات نتيجة الانكماش ، درجة الإنتاجية والنفاذية لخزان جوفى صخرى تتوقف على درجة التماسك لمادة الصخر ، شكل وحجم الشقوق والكسور وقنوات للمواد المنصهرة والفتحات الأخرى وحجم الصخر المفتت ، الخزانات الجوفية للصخرية ذات الإنتاجية القليلة هي ذات الصخور الجرانيتية والكوارتز ، الحمارة ، صخر الإردواز (Slate) ، أو الشيست (Schist) وهو صخر متبلر ينفلق بسهولة إلى طبقات . مثال للخزانات الجوفية للصخرية المنتجة هو خزان الحجر الرملى النوبى في السودان ومصر والسعودية في مناطق الفوالق الصخور البللورية .

السرعة الطبيعية للمياه الجوفية قليلة جداً . فقد تصل إلى ١,٥ متر فى العام وقد ترتفع إلى ٢ متر فى اليوم . (لا تم تسجيل سرعات عالية وصلت إلى ٣٠ متر فى اليوم). السرعات العالية للمياه الجوفية تكون في مكان قريب من بئر الضخ أو قناة مفتوحة .

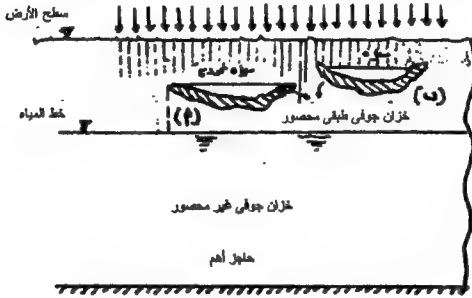
العوامل الجوية للصخور الرسوبية لها تأثير على التغير المستمر للحالة الطبيعية وتتأثر العوامل الجوية بمقاومة مادة الالتصاق . لكثير مواد الالتصاق تحملاً هي مواد السيليكات ولقها هي الطمي . للمياه الجوفية ظلت ويستظل من خلال تحركها تحدث تغير بطى فى خصائص هذه للتكوينات ومواد الالتصاقها . المادة الناتجة عن عملية (Kartisification) هي نتيجة عمليات طبيعية لدخل وخارج القشرة الأرضية بسبب تحلل وصرف مواد التحلل (Leaching) للحجر الجيري والدولوميت والصخور الأخرى القابلة للذوبان . عادة فى هيدرولوجية المياه الجوفية تحدث حالة مشابهة لكل من الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم) والدولوميت (كربونات المغنسيوم) . للدولوميت له نفاذية أعلى من الحجر الجيري . ولذلك فعند التحول الجزئى للحجر

الجيرى إلى الدولوميت خلال عملية تسرب المياه الجوفية حاملة المغنسيوم ، تزداد النفاذية للتربة الجيرية وبالتالي يزداد إنتاج مياه البئر فى حالة إنشائه فى هذا الموقع .

Aquicludes And Aquitards

خزان جوفى (Aquicludes) هى عمليات تكوينات جيولوجية صماء التى تحتجز تماماً تربة أخرى وتسمح بالتسرب للقليل للمياه خلال جدرانها . يمكن أن يكون هذا الخزان مثبوع تماماً بالماء فى حالة ركود كاملة (Stagnation) .

أما الخزان للجوفى المسمى (Aquitard) فهو أكثر نفاذية من الـ Aquiclude يمكن اعتباره طبقات شبه محصورة (Semiconfining) حيث تتسرب المياه من خلالها بمعدل بطى جداً . كمية تسرب المياه من هذا الخزان يمكن أن تكون كبيرة جداً فى حالة امتدادها لمساحات كبيرة . خزان جوفى Aquitard له أشكال مختلفة . قد يتكون من طبقات رقيقة من الطين مدفونة فى تربة رملية . فى بعض الحالات يوجد هذا النوع فى شكل طبقي (Saucer Shaped Aquicludes) شكل (٤-١) . عند تسرب المياه إلى أسفل من هطول الأمطار أو أى مصادر سطحية أخرى ، فإنها تصطدم بهذا الخزان الطبقي ، للشكل الهندسى لهذا الخزان يسمح بتكون خزانات مياه طبيعية . وهذا النوع من المياه يسمى المياه المعلقة (Perched Water) . فى بعض الأحيان يفيض هذا الخزان تحت الأرض من على الأجانب حتى الوصول إلى خط المياه الرئيسى . فى المناطق الصحراوية تستخدم المياه العمودية لإمدادات مياه محدودة . فمثلاً كانت المياه العمودية المصدر الرئيسى للمياه لقوات الحلفاء أثناء الحرب العالمية الثانية على امتداد المساحة الساحلية للبحر الأبيض المتوسط فى صحراء مصر الغربية . يمكن أن تكون المياه العمودية مستديمة أو متغيرة طبقاً لكمية الشحن بالمياه .



شكل (١-٤) المياه الصودية Perched water في

خزان طبقي فوق خط المياه

(أ) حجم المياه أكبر من سعة الخزان الطبقي

(ب) حجم المياه أقل من سعة الخزان الطبقي

الخزانات الجوفية المحصورة والغير محصورة

(Confined And Unconfined Aquifers)

يوجد نوعين رئيسيين من الخزانات الجوفية على أساس طبيعة تنفق المياه

الجوفية. محصور (Confined) ومعروف كذلك بالآرتيزان (Artizian) واللوع الآخر

للغير محصور (unconfined) ومعروف بخط المياه أو للمادى (watertable) شكل (٣-١)

(١) الخزان الجوفي A B محصور بين طبقتين صماء (impervious) وتميل بالتدرج إلى

أسفل من مأخذها عند سطح الأرض إلى حدها النهائي على طول شاطئ البحر .

الطبقات الصماء لا تسمح للمياه بالاختراق خلالها هذا هو المثالي ولكن في الواقع فإن

الماء يتدفق عبر هذه الطبقات بكميات مختلفة طبقاً لدرجة التقايد وفروق الجهد في

الماء فوق وأسفل الحدود الصماء .

بمستوى المياه الجوفية عند المأخذ يكون معرض للجو ولذلك يعرف بخط المياه

الجوفية (Groundwatertable) . ولكن نتيجة للتسرب المستمر للأمطار والشحن الطبيعي والصناعي وكذلك للضخ ، فإن المياه تتحرك خلال الخزان الجوفي ، حيث يفقد الطاقة بالاحتكاك خلال المسام مع تحركه . خط الضغط $a-b$ الذى يمثل توزيع ضغط المياه على طول الخزان الجوفي ، عبارة عن الإسقاط الرأسى لسطح يسمى السطح البيزومتري الفقد فى الضغط (Headloss) بالاحتكاك عند هجرة المياه من نقطة المأخذ a إلى النقطة g قرب النهاية. وتمثل بالفرق فى الارتفاع للنقط a و b فى حالة حفر بئر ملاحظة (ماسورة بنهاية مفتوحة) إلى أسفل هذا الخزان الجوفى المحصور عند أى موقع فإن المياه سترتفع إلى السطح البيزومتري عند هذا الموقع ، يجب للتأكد أن السطح $a-b$ ليس خط مياه جوفية بل هو مخطط للضغط . السطح العلوى للتشبع بالمياه فى الخزان الجوفى AB يطابق مع السطح السفلى للطبقة الصماء العليا .

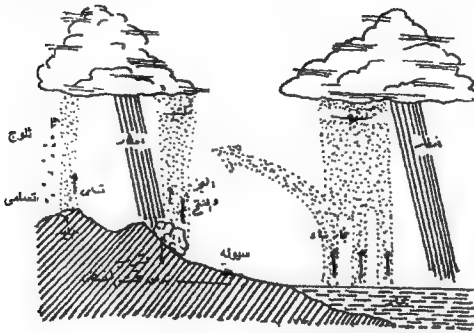
تتدفق المياه الجوفية خلال الخزان الجوفى AB يشبه إلى درجة ما تدفق الماء خلال ماسورة . عند إنشاء بئر ملاحظة أو بئر إنتاج عند النقطة a' الشكل (٣-١) . ستتدفق المياه من البئر طبيعياً بدون ضخ لأن منسوب السطح البيزومتري الأصلى عند ذلك الموقع - بالتحديد يكون فوق سطح الأرض : هذا البئر يسمى ويعرف بالبئر الارتوازي المتدفق . (Flowing Artisan well) . أما فى حالة حفر بئر عند النقطة b' فإن منسوب السطح البيزومتري عند هذا المكان يكون منخفض عن منسوب سطح الأرض لذلك فإن الماء سوف يندفع فى البئر إلى منسوب . أعلا من أعلا منسوب للتشبع فى الخزان الجوفى المحصور وبالتالي منخفض عن منسوب سطح الأرض . فى حالة الرغبة فى سحب المياه من هذا البئر فإنه يلزم استخدام الطلمبة. يسمى هذا البئر بالبئر الارتوازي (Artisan Well) . فى الواقع فإن كلا من البئرين عند a' ، b' من النوع الارتوازي ، وفى بعض الأحيان توصف حالة a' بالارتوازي والحالة b' تحت الارتوازي (Subartisan) . ورغم أن أى من هاتين الحالتين يتوقف على منسوب سطح الأرض فإن شكل التدفق يكون مستقل تماماً عن طبوغرافية السطح ، فى الحالات الارتوازية يكون ضغط المياه خلال مسام الخزان الجوفى دائماً أكبر من الضغط

الجوى عدا في حالة استنزاف الماء إلى منسوب أسفل الحدود العليا للخران الجوفى .
 نظراً لأن الطبقة الصماء العليا للخران الجوفى AB يملؤها للخران الجوفى CD شكل (١-٣) فإن الشحن بالمياه أو أى مصادر مائية أخرى يوجد مجال مشبع في الخزان الجوفى الذي يوفر مجال تشبع في الخزان الجوفى والذي يكون له منحني خط المياه والمعروف بخط المياه أو السطح الحر (Ground -Table curve - Free surface water) . يكون خط سطح المياه في حقيقته هو مكان كل النقط في الخزان الجوفى التي يكون عندها الضغط يساوي للضغط الجوى . خط المياه (Water table) ليس هو الحد الأعلى لمنطقة التشبع نظراً لأنه يوجد منطقة التهوية (Vadose zone) فوق خط المياه ، والتي تحتوي في قاعها وفوق خط المياه منطقة الخاصية الشعرية (Capillary fringe) وفي أعلاها منطقة مياه للتربة شكل (١-٥) . درجة التشبع تختلف من صفر أعلى منطقة الخاصية الشعرية إلى ١٠٠% عند اللقاع ملاصقا لخط المياه . ضغط المياه فوق خط المياه يكون دائماً أقل من الضغط الجوى .في حالة حفر بئر خلال كل العمق لمنطقة التشبع للخران الجوفى CD إلى منسوب أعلى قليلاً من الطبقة العليا الصماء للخران الجوفى AB فإن الماء سيرتفع إلى منسوب قريباً من منسوب خط المياه . مثل هذا للخران الجوفى يسمى للخران الجوفى الغير المحصور (Unconfined أو الخزان الجوفى للعادي أو خزان جوفى خط المياه . عند تقاطع خط المياه مع منخفض فإن المياه تتسرب إلى لجانب المنخفض مكونة بركة أو بحيرة . وهذه البركة نتيجة تسرب المياه تسمى عين (Spring) ولكن بتدفقات منخفضة جداً .
 في الشكل (١-٣) النهايات اليمنى لكل للخرانات الجوفية والتكوينات تكون ملتصقة بالمياه المالحة . في هذه الحالة فإن مياه البحر تتزو كلا للخرانين AB و CD شكل (١-٣) مكونه جسم مستقل من المياه المالحة . الفاصل بين جسم المياه المالحة والمياه العذبة يعرف بتقابل المالحة مع العذبة ، درجة وشكل هذا التقابل يعتمد على عوامل كثيرة . في الخزان الجوفى الغير محصور تكون المياه العذبة فوق أو أسفل مستوى سطح البحر . سطح الخروج يعرف بوجه للتصرف (Discharge face) ،

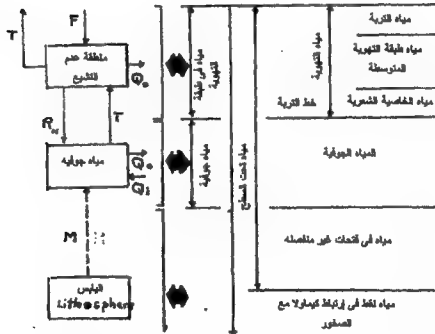
والجزء فوق منسوب سطح البحر عادة أصغر من الذي أسفله . أما في حالة الخزان الجوفي المحصور (الارتوازي) فإن وجه للصرف للمياه العذبة إلى البحر يوجد بكامله أسفل منسوب سطح البحر . مناطق للخزانات التي تتأثر بدخول مياه البحر تعرف بالخزانات للجوفية الساحلية (Coastal Aquifers) . الخزانات التي لا تتأثر بدخول مياه البحر تسمى للخزانات الجوفية العذبة.

وجود المياه الجوفية (Ground Water occrance)

أصل المياه الجوفية والدورة الهيدرولوجية (Ground Water Origin And Hydrologic Cycle) . الدورة الهيدرولوجية شكل (١-٥) تمثل حالات سقوط المياه من الجو إلى الأرض أو إلى المحيط المائي أو غلاف الأرض المائي (Hydrosphere) مثل الأنهار والبحار والبحيرات على سطح الأرض ثم تعود ثانياً إلى الجو . تبخر المياه المباشرة من المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار والقنوات المائية ، والأرض الرطبة ، الثلوج والجليد وعملية تبخر نتج للنبات يحول المياه إلى بخار يحمل بواسطة الهواء عند الارتفاعات العالية يتحول البخار إلى سحب والتي خلال التكثيف ترسب إلى الأرض كمياه أو ثلوج . نتيجة لفعل الرياح فإن الترسيب ليس بالضرورة سقوطه على الأماكن التي حدث بها التبخر . جزء من المياه المكثفة يتدفق على سطح الأرض في صورة سيول وهذا يغذي المجاري المائية والبحيرات .. الخ أو يتدفق نحو البحر قبل أن يتبخر ثم الاتصال بالدورة الهيدرولوجية ثانياً . جزء آخر يستهلك بواسطة النباتات والباقي يتسرب إلى الأرض . وهذه المياه المتسربة قد تصل وقد لا تصل إلى خط المياه الجوفية . وكذلك فإن بعض هذه المياه التي ترسب تتبخر قبل أن تصل إلى سطح الأرض .



شكل (٥-١) لتخطيط لتمثيل الدورة الهيدرولوجية



شكل (٦-١) أوضاع المياه الجوفية والشكل الجانبي للعلم للمياه

خفض منسوب المياه الجوفية في الخزانات الجوفية الغير المحصورة وخفض ضغط المياه في الخزانات الجوفية المحصورة يكون نتيجة صرف المياه خارج الخزان الجوفي لعدة أسباب ، مثل السحب من الخزان الجوفي كما في حالة ضخ المياه من بئر ، الصرف الخارجي الطبيعي من الآبار ، العيون ، التسرب ، البحر ، بخر مياه نتج النباتات ، السدق الطبيعي إلى خزان جوفي مجاور . أثناء عملية البخر مياه البخر قد تملأ تماما المعام وتحرك من منطقة ذات طاقة عالية إلى أخرى ذات طاقة منخفضة . ففى المناطق الجافة الخزانات عادة تقبل أي مياه ، البخر يسبب مشكلة نقص المياه . المناطق الجافة فيها نباتات تستهلك كميات كبيرة من المياه (مثل الحشائش المالحة) . تقدير معدلات السحب من والشحن إلى خزان جوفي معين له حدود معلومة يعتبر أساس لتقدير لقتصاديات الاستغلال للمياه . أقصى الحالات تكون عند سحب أقصى كمية من المياه بدون حدوث أي تأثير جانبي ضار مثل انخفاض منسوب المياه الجوفية مما يتطلب تغيير طاقة مطلوبة الرفع وعمقها أو زيادة عمق البئر ، انخفاض التربة بسبب زيادة الضخ أو تسرب المياه المالحة . في حالة تساوي معدل السحب مع معدل الشحن أو عدم زيادة معدل السحب عن معدل الشحن السنوي يمكن تحقيق ظروف آمنة . الخزانات الجوفية ليست فقط مجال لنقل المياه ولكن كذلك خزانات للمياه . مشكلة الإنتاج الآمن (SAFE FIELD) للخزان الجوفي هي أهم المراحل المعقدة لإدارة مصادر المياه الجوفية .

أشكال وجود المياه الجوفية (Modes Of Ground Water Occurance)

توجد أشكال مختلفة لوجود المياه في التربة شكل (٥-١) . الرطوبة الممتصة (Hygroscopic Moisture) وهي الرطوبة التي امتصت بواسطة التربة الجافة من الجو قريبا من سطح الأرض . عند تسرب المياه خلال التربة فإنها تكون مناطق رطبة منعزلة نتيجة التجاذب لجزيئات المياه لمحبيبات للتربة . هذه المياه لا يمكن سحبها بواسطة قوة للجذب ، وهي تشغل الجزء العلوي من منطقة التهوية . شكل (٦-١) . فوق خط المياه مباشرة توجد المياه التي ارتفعت بفعل الخاصية الشعرية (Capillarity)

عموما حركة المياه في منطقة التهوية يرجع إلى الخاصية الشعرية والبخر . حركة المياه إلى أسفل تكون بسبب التسرب لمياه الأمطار والمياه السطحية . منطقة التهوية شكل (٦-١) هي منطقة عدم التشبع فوق خط المياه ، قد تختفي في المساحات الرطبة حيث خط المياه قريبا من سطح الأرض وقد تكون عميقة جدا في المناطق الجافة .

أسفل خط المياه توجد منطقة للتشبع الكامل . خط المياه هو السطح الذي على امتداده يكون ضغط مسام المياه هو الضغط الجوي . الطبقة المشبعة هي من اهتمامات مهندس المياه ، بينما طبقة التشبع الجزئي (التي تعلو خط المياه) هي من اهتمامات مهندس الزراعة ومهندس الطرق . عموما يمكن تقسيم المياه كالآتي :

مياه جوية (Meteoric Water) :

هذه المياه هي التي دخلت قريبا في الدورة الهيدرولوجية ، وهي تشابه المياه السطحية ، وتكون عادة في الخزانات الجوفية الضحلة نسبيا المستخدمة لسحب المياه أو لشحن المياه .

♦ مياه بحرية (Marine Water) :

وهي المياه التي دخلت إلى الخزانات الجوفية الساحلية وهي تشابه مياه البحر .

♦ المياه الأحفورية القديمة (Connate Water) :

وهي تتكون من المياه التي هاجرت من حيث دفنت أولا مع الترسبات . وهي مياه عالية المحتوى من للمعادن (مياه معدنية) وتكون إما من أصل بحري أو مياه حلوة . وهي تسمى كذلك (Fossil Water) . في بعض الأحيان قد لا تكون معزولة تماما من الدورة الهيدرولوجية وخاصة في حالة إعدادها للاستخدام . عينات المياه الأحفورية المأخوذة من الآبار العميقة في الصحراء الغربية لمصر (خزان جوفي في الحجر الرملي للنوبي) يبدو أنها ٢٠٠٠٠ إلى ٣٠٠٠٠ سنة وأكثر . للتنمية الحديثة (حوالي عام ١٩٦٠) للمياه الأحفورية فيمصر أبرزت عدة مشاكل يرجع معظمها لنقص للتغذية في الصحراء والمناطق القاحلة.

♦ مياه الصخور البركانية (Magmatic Water) :

مثل المياه المعدنية من العيون الحرارية والتي تتبع من الصخور البركانية . في حالة انخفاض منسوب هذه الصخور البركانية (٣-٥ كيلو متر) تعرف المياه بالمياه البركانية (Volcanic Water) أما العيون العميقة الحرارية تنتج مياه عند درجة حرارة عالية جداً تعرف بالعيون البركانية . وفي حالة الصخور البركانية على عمق كاف تعرف المياه بالمياه الجوفية (Plutonic Water) .

♦ المياه التحويلية (Metamorphic Water) :

ترتبط المياه للتحويلية بالصخور عند تحولها .

♦ المياه الحديثة (Juvenile Water) :

وهي مياه حديثة من أصل مغناطيسي أو كوني التي لم تكن جزء من الدورة الهيدرولوجية .

المياه التحويلية والحديثة ليست من اهتمام المهندسين وإن كانت المياه الحديثة يتبع الاهتمام بها لعلاقتها بالعيون (Springs)، المياه الجوفية والبحرية من اهتمام المهندسين . المياه الأحفورية القديمة والمياه الحديثة ليست جزء من الدورة الهيدرولوجية وإن كانت هذه المياه قد تجد طريقها إلى سطح الأرض والاتصال بالدورة الهيدرولوجية .

توجد أنواع مختلفة من العيون فقد تكون العيون ضحلة كالتي تكون نتيجة حركة المياه الجوفية قريباً من سطح الأرض ، أو تكون عميقة مثل العيون البركانية وقد تكون عميقة خلال الصخور المتفتتة أو العيون الساحلية والتي تتدفق في قنوات تحت سطح الأرض . الزلازل يمكن أن تحدث تغييرات في تصرف العيون وقد تزيد من إنتاجية بعضها وتكميها .

٣- نوعية المياه الجوفية Ground Water Quality :

للمياه النقية (H_2O) ليس لها وجود عموماً في الطبيعة ، حتى أن مياه الأمطار ليست نقية . المياه من المصادر السطحية أو الجوفية تحتوى على مواد صلبة مذابة

وغازات مذابة وكذلك مواد عالقة . كمية ونوعية هذه المكونات تتوقف على عوامل جيولوجية وبيئية وهي دائما تتغير نتيجة تفاعل الماء مع المجال للملاحق لأنشطة الإنسان . المياه الطبيعية تعنى حالة للمياه في توقيت استعمالها أو أخذ عينات للدراسات والتحليل . يلزم عمل الاختبارات الكيميائية والطبيعية والبيولوجية والإشعاعية قبل استعمال المياه في الأغراض المنزلية أو الزراعية أو الصناعية . ثم يتم مقارنة هذه الاختبارات مع المواصفات المقبولة لاستخدام المياه . درجة حرارة المياه تعتبر عامل هام بالنسبة لنوعية المياه الجوفية حيث أن المياه الجوفية تفضل في إمداد المياه . وفي استخدام المياه في الصناعة بسبب ثبات درجة حرارتها على مدار العام .

دراسة العوامل المؤثرة على نوعية المياه الجوفية تمكن من التعرف على نوعية هذه المياه مستقبلا مقارنة بنوعيتها الحالية . للتغير في نوعية المياه الجوفية يرجع إلى التغير في نوعية المياه المتسربة والتفاعل مع المجال للملاحق وطول مسار التدفق، وفترة وجود المياه في المكان ، نوع النباتات ، للنشاطات بفعل الإنسان .

تأثيرات الرسوبيات Precipitation Effects

تتأثر نوعية المياه الجوفية بالمرحل المختلفة للدورة الهيدرولوجية . الرسوب الجوي كالمطر والثلج يتكون من الماء الذي فقد نقاءه أثناء رحلته في الجو وقبل وصوله إلى الأرض . الملوثات والكيماويات في الجو تكون نتيجة الغازات والأتربة في الجو بالإضافة إلى المواد للصلبة التي تحملها الرياح ، كذلك الهواء المحمل بالأملح الناتج فوق سطح البحر في المناطق الساحلية ، للغازات الناتجة من المصانع. عند وصول مياه الأمطار إلى الأرض تكون الملوثات بها قد ذابت ثم تختلط بالمياه السطحية . مياه الأمطار عندئذ تتفاعل كيميائياً مع المواد المعدنية في التربة والصخور وذلك طبقاً لتكوين هذه التربة والرقم الهيدروجيني للماء . عندما يكون الرقم الهيدروجيني أكبر من ٨,٥ تكون المياه للتصفت بأملاح الكربونات وعندما ينخفض الرقم الهيدروجيني تكون المياه للتصفت بأحماض معدنية من المصادر الكبريتية

(Sulfide) أو تكون محتوية على أحماض عضوية .

تركيز الكيماويات في المياه المرسبة يختلف موسميا ومكانيا . يصل تركيز النشادر والنترات إلى ٢ ملليجرام / لتر وتركيز أيون الكلوريد والبيوتاسيوم إلى حوالي ٨ ، ٤ ، ٠.٤ ملليجرام / لتر في المناطق الساحلية . بينما يصل تركيز الصوديوم إلى ٤ ملليجرام / لتر في المناطق الساحلية وينخفض إلى ٠.١ إلى ٠.٣ ملليجرام بعيدا عن الساحل .

ثاني أكسيد الكربون المذاب من الجو ينتج حامض الكربونيك مما يسبب خفض الرقم الهيدروجيني لمياه الأمطار إلى أقل من ٧ وقد تصل إلى ٤,٥ وعندئذ تسمى الأمطار الحامضية والتي قد تحتوي كذلك على أيون الكبريتات .

تأثير التربة والصخور .

عند وصول مياه الأمطار إلى الأرض فإنها تكتسح (Leaches) غطاء التربة ومواد أخرى نتيجة تحلل النباتات والحيوان . خلال منطقة الجذور للنباتات يتغير التركيب الكيميائي للماء نتيجة للتبادل الأيوني بين مكونات الماء والتربة وكذلك يسبب حصول النبات على الغذاء . للمياه المرشحة تكون غنية بالنترات والفوسفات والبيوتاسيوم التي يرجع وجودها إلى المخصبات الكيميائية .

النباتات والكائنات الحية الدقيقة الأخرى تنتج ثاني أكسيد الكربون وأحماض عضوية مما يسبب خفض الرقم الهيدروجيني . للمياه المرسبة (Leachate) من مياه الري بها تركيزات لملاح أعلى من المياه السطحية .

في المناطق الصحراوية حيث التصريف ضعيف تكون نسبة البحر أعلى من نسبة للتسرب مما يعمل على تراكم الأملاح قرب سطح الأرض مما يزيد من تركيز الأملاح على الناتج عن النباتات والأسمدة .

نظرا لزيادة الحموضة للمياه السطحية (مثل مياه الري) ومياه قبل وبعد التسرب إلى التربة وهذا يجعل من تفتت التربة والصخور (Weathering) طبقا لدرجة الإنذابة للتربة والصخور فإن الأملاح الكلية المذابة (TDS) للمياه المتسربة تتغير . درجة

الإذابة تتأثر كذلك بدرجة الحرارة والضغط . تزداد سرعة المياه الجوفية مع زيادة العمق وتزداد الإذابة لأملاح للتربة مع زيادة السرعة . الخزانات الجوفية العميقة تكون عادة راكدة (Stagnant) لهذا تزداد ملوحة المياه مع العمق . المياه المحتوية على أيون الكربونات تكون قريبة من سطح الخزان الجوفي والمحتوية على الكلوريد تكون في قاع الخزان الجوفي .

تقسم المياه الجوفية طبقاً لدرجة ملوحتها (وكذلك المياه السطحية) حيث المياه العذبة تحتوي على تركيزات أملاح أقل من ١٠٠٠ ملليجرام / لتر . المياه المالحة نسبياً تحتوي على تركيزات أملاح من ألف إلى عشرة آلاف ملليجرام / لتر . المياه المالحة تحتوي على عشرة آلاف إلى مائة ألف ملليجرام / لتر .

الخزانات الجوفية من الصخور النارية والبللورية تنتج عادة مياه ذات نوعية ممتازة بمحتوى من الأملاح أقل من ١٠٠ ملليجرام / لتر ولا يزيد عن ٥٠٠ ملليجرام / لتر . كما أن نوعية المياه الجيدة تكون في خزانات الكشبان الرملية والخزانات الجوفية الساحلية (الطبقة العليا) كذلك توجد المياه الجيدة في خزانات جوفية الصخور البركانية والرسوبية إلى حد ما . المياه في الخزانات الجوفية من الرمل الحجري (Sand Stone) قد يكون غني بأيونات الصوديوم والبيكربونات ، وفي الخزانات من المحار قد تكون المياه ذات حموضة إلى حد ما وعالية بالنسبة للحديد والكبريتات والفلوريد . أما في حالة التربة من الحجر الجيري فتكون قلوية إلى حد ما وتحتوي على أيون الكالسيوم والمغنسيوم .

عسر المياه الجوفية (Hardness Of Ground Water) ،

عند تسرب مياه الأمطار للحامضية في تربة أرضية من الحجر الجيري أو الدولوميت ، فإنها تذيب كربونات الكالسيوم والمغنسيوم منتجة مياه جوفية عسر . تنتج المياه الجوفية العسر عادة من الخزانات الجوفية من الحجر الجيري ، الدولوميت ، الجبس المغطى بطبقة كثيفة من التربة . استمرار الإذابة بفعل المياه الحامضية في الخزانات الجوفية يزيد العسر حتى تمام استهلاك محتوى المياه الجوفية من ثاني أكسيد

الكربون . المياه البسر (Soft Water) قريبة من أماكن الشحن عن أماكن السحب. عموماً المياه الجوفية نتيجة تسرب مياه المجاري السطحية تكون خالية من المذاق ، السرائحة ، العكارة ، الكائنات الممرضة والمواد العضوية إلا في حالة وجود أحماض عضوية عالية في المجرى للمائي .

الغازات المذابة Dissolved Gases

معظم المياه الجوفية تحتوي على غازات مذابة الموجودة في الدورة الهيدرولوجية. تكون هذه الغازات إما من الجو مثل النيتروجين والأكسجين وثاني أكسيد الكربون أو نتيجة تحليل المواد العضوية التي تنتج كبريتيد الهيدروجين وغاز الميثان . المياه المحتوية على أقل من ١ ملليجرام في اللتر كبريتيد الهيدروجين يكون لها رائحة البيض الفاسد والمحتوى على ١-٢ ملليجرام/ لتر من غاز الميثان يمكن أن يسبب انفجار في حالة عدم التهوية الجيدة للمكان كما أنه يسبب الاختناق في الآبار المحفورة (Dug Wells) وحفر الطلمبات كما يسبب غاز الميثان اشتعال الحرائق .

الغازات المذابة في المياه الجوفية تنطلق من المياه عند ارتفاع درجة الحرارة وخفض الضغط . في معظم المياه الجوفية تركيز الغازات المذابة يتراوح ما بين ١ - ١٠٠ جزء في المليون . الغازات تسبب تلف للطلمبات وقيسونات الآبار بسبب التآكل

أسباب وإثر النغير في نوعية المياه الجوفية :

التدخل بين المياه الجوفية ومجالها الطبيعي يوجد حالة لآثران كيميائي والذي يسؤدى إلى ثبات نوعية المياه الجوفية . هذه العوامل مثل التفاعلات الكيميائية ، رحلة المياه بكميات مختلفة من مصادر مختلفة وسحب المياه وشحن المياه من وإلى الخزانات الجوفية بمياه نقية أو ملوثة يؤدي إلى التغير الكيميائي للمياه وتغير خصائص أخرى .

التغير القاعدي (الكاتأيوني) يشمل كاتأيونات الصوديوم ، الكالسيوم والمغنسيوم. فعند تسرب المياه المحتوية على نسبة عالية من الصوديوم إلى التربة

يحدث استبدال للصوديوم بأيونات أخرى مثل الكالسيوم وذلك يؤدي إلى تراكم المواد في مسام التربة وبذلك تتخفض النفاذية . أما في حالة إضافة الجبس ($CaSO_4$) إلى التربة يصبح الكالسيوم الأيون السائد ومن خلال التبادل القاعدي تصبح التربة ذات نفاذية أعلى . هذه التغيرات في النفاذية تسبب للتغير في سرعة للمياه الجوفية والتي تؤثر على نوعية المياه . التبادل للقاعدي يغير المياه من اليمس إلى العسر . التغيرات في نوعية المياه تزداد في الخزانات الجوفية الضحلة عن العميقة نظراً لسهولة تأثرها بالتغيرات الموسمية والأنشطة للتنموية . ترسيب كربونات الكالسيوم وانطلاق ثاني أكسيد للكربون يكون نتيجة خفض للضغط و/ أو زيادة درجة الحرارة .

الخواص الطبيعية للمياه الجوفية :

Physical Properties Of Ground Water

التحليل الطبيعية للمياه الجوفية تشمل تعيين اللون ، المذاق ، الرائحة ، العكارة ، درجة الحرارة . لون المياه يكون نتيجة وجود أملاح معدنية ومواد عضوية مذابة ، وأما المذاق والرائحة فيمكن اكتشافها بالخبرة أو بطريقة كمية على أساس أقصى درجة تخفيف مقارنة بمياه ليس لها مذاق أو رائحة .

العكارة هي مقياس للمواد الصلبة واللاهلامية للعالقة في الماء مثل المواد العضوية ، الكائنات الحية الدقيقة وجسيمات الطمي والطفل . يمكن قياس العكارة على أساس طول الشعاع الضوئي للامر خلال الماء والذي يسبب اختفاء صورة شمعة قياسية . المياه الجوفية من الخزانات الجوفية الزلطية أو الرملية تكون عادة خالية من العكارة . المياه العكرة تكون من الخزانات ذات الصخور المتفتتة أو من العيون الطفلية حيث الخزان الجوفى الضحل بعد فترات الأمطار . المياه المحملة بالأملاح الحديد يكون نتيجة وجودها في خزان جوفى به مركبات الحديد التي تنوب بفعل ثاني أكسيد للكربون وتتحول إلى أملاح الليكربونات المذابة والتي ترسب عند أكسنتها بفعل الهواء الجوى بعد سحب المياه من البئر ، وقد تكون المواد الحديدية بسبب تآكل المواسير والظلمبات الحديدية .

تتأثر درجة حرارة المياه في الخزانات الجوفية الضحلة بالتغير المستمر اليومي والموسمي لدرجة حرارة السطح وبدرجة أقل بالتدرج الحراري في باطن الأرض . بسبب للتدرج الحراري الجيولوجي تزداد درجة الحرارة بين ١م إلى ٥ م (بمتوسط ٢,٥ م) لكل ١٠٠ متر عمق .

درجة حرارة المياه الجوفية العميقة تظل مستقرة تقريباً . لقد وجد أن المياه الجوفية على عمق من ١٠ إلى ٢٠ متر ثابتة دائماً وتزيد عن متوسط درجة حرارة الهواء الجوي اليومية ١ إلى ١,٥ م . ميزة ثابت درجة حرارة المياه الجوفية يستفاد بها في الصناعة واستخدامات أخرى كما في حالة التحكم في درجة حرارة الطلمبات في المباني للتبريد في فصل الصيف والتسخين في فصل الشتاء . الآبار العميقة في المناطق الجيولوجية الحرارية (Geothermal) يمكن أن تصل درجة حرارة المياه أعلى من درجة الغليان (١٠٠ م) والعاذى هو درجة حرارة ما بين ٢٠٠-٣٠٠ م . ويستفاد بهذه المياه في التدفئة وتوليد البخار لإنتاج الطاقة . اختبارات درجة الحرارة والعاذى واللون تتم في المواقع عند أخذ العينات مباشرة.

الفصل الثانى

استكشاف المياه الجوفية

استكشاف المياه الجوفية Grond Water Exploration

زاد أخيراً الاحتياج إلى موارد المياه من المصادر الجوفية وذلك بعد استغلال مصادر المياه الجوفية القريبة والذي يصعب من الحصول على مصادر جديدة ذات نوعية مياه جيدة .

تقنيات الاستكشاف تتطلب وجود (١) خرائط هيدروولوجية والتقارير المتوفرة من الجهات البحثية (٢) المساحة الجيوفيزيكية على سطح الأرض (٣) طرق أخذ العينات من آبار الاختبار (٤) عمل لوغاريتم جيوفيزيقي لبئر الاختبار (٥) خرائط جغرافية .
الأجهزة الجيوفيزيكية (Geophysical Instruments) توفر للمعلومات عن الخصائص الطبيعية والكيميائية للمجال تحت سطح الأرض . توجد حالياً معدات لوغاريتم البئر الجيوفيزيكية (Geophysical Well Logging Equipments) المتطورة لاختبار المنطقة الأكثر إنتاجية في البئر التي يجب أن توضع عندها المصفاة .
ولكن يجب معرفة أن البيانات الجيوفيزيكية توفر معلومات يلزم تأكيدها ولذلك فإن كل هذه البيانات يجب تأكيدها بعمل البئر الاختباري لأخذ العينات هذا بالإضافة إلى أن هذه البيانات يجب أن يقوم بتحليلها شخص خبير ومدرب .

الخطوات الأولية لاستكشاف بئر المياه هي :

- الحصول على عينات ولقمة من التربة المخترقة .
- يتم عمل لوغاريتم جيوفيزيقي لبئر الاختبار المكتمل .
- بين العمق إلى خط للمياه الاستاتيكي لكل نوع من التربة له نفاذية جيدة .
- أخذ عينات ماء لتعيين نوعية المياه .

الخرائط :

نوع المواد الجيولوجية وطبوغرافية سطح الأرض في المنطقة يؤثر على مكان المياه الجوفية . فمثلاً توجد المياه الجوفية في الوديان قرب السطح وبكميات كبيرة عن المناطق حيث الأرض المرتفعة . توضح للخرائط الطبوغرافية معلومات عن شكل

وحجم وظواهر للتوزيع على سطح الأرض وأماكن مصادر المياه مثل للمجارى المائية والبحيرات وكذلك الإنشاءات كالمباني والطرق والسكك الحديدية .. الخ. وكذلك المنخفضات والمرتفعات فى المنطقة . للنباتات فى المناطق القاحلة تبين احتمال وجود للمياه الجوفية .

الخرائط الجيولوجية ، توضح المواد ذات النفاذية والمواد الصماء وطبيعتها . كما توضح نوع الصخور والتوزيع الجيولوجى للمواد وأنواعها والفواصل والقواسق . يوجد فى الخرائط الجيولوجية مقطع يوضح سمك ونوع التربة يفيد فى تقييم إنتاجية الماء من الآبار.

الخرائط الهيدروكيميائية ، Geohydrochemical Maps

وهذه توضح الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية . يوجد ثمانية أنواع من المياه أمكن التعرف عليها كما هو موضح فى الجدول (٢/١) . وتوجد خرائط أخرى.

جدول (٢/١) الألوان التى تمثل ثمانية أنواع من المياه

نوع الماء	الأيونات للسلادة		نوع الماء
	آن أيونات	آن أيونات	
أزرق أزرق فاتح أزرق بنفسجى أزرق غامق أزرق بروسيا	- - Ca++ Mg++ Na+ أو (Na+ + K)	CHO ₃ ⁻ CO ₃ ⁻	مياه البيكربونات كالسيوم مغنسيوم صوديوم
أصفر وبنى أصفر بنى فاتح بنى غامق	Ca++ Mg++ Na+ أو (Na+ + K+)	SO ₄ ⁻ SO ₄ ⁰	مياه الكبريتات كالسيوم مغنسيوم صوديوم
أخضر أخضر فاتح أخضر غامق	Ca++ Na+ أو (Na+ + K+)		مياه الكلوريد مياه الكلوريد كالسيوم صوديوم

الصور الجوية Aerial Photographs

يوجد نوعين أساسيين للصور الجوية ، وهما المأخوذة قريبا من الأرض ، والمأخوذة من الأقمار الصناعية (Satellites) التي تدور حول الأرض عند حوالي ٣٥ كيلو متر .

الصور الجوية تكشف عادة معلومات هيدروlogية التي لا يمكن رؤيتها بوضوح عند سطح الأرض . مثل الفوالق ، الاتصال ، المجارى القديمة للأنهار والأحجار التي يجرفها النهر الجليدي (Moraines) . بخلاف الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية فإن التصوير الجوي يحتوى على اتجاهات كثيرة فى المقياس ، أى أن ارتفاع الظواهر الأرضية يصعب تحديده بدون استخدام معدات خاصة .

للتصوير الجوي يساعد فى تحليل الشروخ الطولية أقل من واحد ميل (١,٦ كيلو متر) . حركة القشرة الأرضية على امتداد الفوالق فى الصخور النارية والصخور التحولية تكون منطقة من الكتل الحجرية التي يمكن أن تحتوى على كميات ضخمة من المياه . مسار الشقوق يمثل مناطق ذات مسامية عالية وتوصيل عالى فى التربة الكربونية وفى الصخور النارية والتحولية . يمكن استخدام الصور الأرضية لمساحة مناطق كبيرة لوضع برنامج المساحات التي يمكن تصويرها بالجو . بالإضافة أنه يمكن التعرف على مساحات السحب والشحن وكذلك الاختلاف فى منسوب المياه الجوفية .

أخذ عينات التربة ، Formation Sampling

فى عمليات الاستكشاف للمياه الجوفية يجب عمل التحاليل للمواد الجيولوجية فى الموقع وطاقة هذه المواد فى إنتاج مياه الآبار . تؤخذ العينات من التربة أثناء عملية الحفر ثم تقييم نتائج الاختبارات بعد تمام الحفر واختبار ضخ البئر . يجب استخدام طريقتين أو أكثر للاستكشاف لمعرفة طبيعة المواد وعملها الحقيقي . معظم المستكشفين للمياه الجوفية يستخدموا واحد أو أكثر من آبار الاختبار قبل إنشاء بئر الإنتاج . المعلومات من آبار الاختبار يستفاد بها فى غرضين وهما تقدير موارد المياه

الجوفية لمساحة كبيرة أو المساعدة في تصميم بئر أو أكثر في مكان معين . الطريقة الأكيدة لمعرفة طبيعة التربة أسفل سطح الأرض هو بالحفر خلالها والحصول على عينات أثناء الحفر وتسجيل البيانات . إن توصيف خصائص التسجيل للصخور (Lithologic Logs للطبقات المختلفة في ثقب الحفر يتوقف على طريقة الحفر Drilling Method) . الطريقة المتبعة عادة في توصيف صخور التربة تتكون من توصيف الخصائص الجيولوجية لكل طبقة والعمق عند كل تغير وسمك الطبقة والعمق إلى المياه . مثالياً يتولى القائم بالحفر بجمع عينات واقعية على أعماق مقاسة وعلى فترات التي تبين الخصائص للتربة المختزنة . لأبار اختبار حتى عمق ٦١ متر تؤخذ العينات كل ١,٥ متر وعند كل تغيير في التربة . ولكن لأخذ العينات كل ١,٥ متر غير عملي في آبار الاختبار العميقة حيث تكون للطبقات بسمك مئات من الأمتار . قد يكون من الصعب عمل العلاقة بين عينة معينة مع العمق المعين في آبار الاختبار بالحفر العميق نظراً للتلوث بمواد الحفر الناتجة من جدران البئر حيث تتفصل المواد على طول عمق الحفر . العينات المأخوذة عادة بطرق الحفر المختلفة هي القطع الناتجة بفعل لقمة الحفر (drill bit) حيث يمكن الاعتماد عليها في التعرف على أفضل مواد الخزان الجوفي وفي تحديد قطر فتحة المصفاة .

يلزم الحذر في أعمال للتجميع الدقيق لحساب البيانات . ملاحظات الحفار يجب أن تسجل حيث عملية الحفر ومعدل الاختراق بين طبيعة التكوينات وخاصة العمق حيث التغير في التكوينات . ولهذا يلزم عند تسجيل الانتباه لصوت وحدة الحفر (Rig) والتفسيرات في منسوب سائل الحفر . فمثلاً عند الحفر بالطريقة الدوارة (Rotary Method) فإن عملية الحفر في الطمي والمحار تكون ناعمة . للتوقف من أن إلى آخر أو خفض المؤقت في الاختراق يمكن أن تبين وجود زلط في الطمي أو وجود مادة شبه متماسكة في الطمي . للتوقف المستمر يوضح عادة تكوينات من للزلط والرمل أو الحجر الرملي . الحفر الناعم مع الاختراق السريع يحدث في الطبقات من الرمل الناعم . رد فعل التربة مشابه عند الحفر بتجهيزة للبريمة (Auger Rigs) .

نوى الخبرة من الحفارین الذين يعملون بطريقة تجهیزة الكابل (Cable Tool) يمكنهم عادة تقدير طبيعة التكوينات وذلك باستشعار كابل التحريم أو بملاحظة منسوب المياه في البئر . منسوب المياه يوضح ما إذا كانت المياه أسفل للقيسون مباشرة غير نفاذة (طمي) أو إذا كانت تأخذ مياه (رمل جاف) أو تصرف مياه إلى ثقب الحفر (رمال مشبعة) . درجة تحرك الرمال في القيسون يوضح بيانات عن تماسك أو تفكك مادة التربة . الرمال المتماسكة لا تتهايل الرمال المتفككة قد تتهايل بما يجعل من الصعب تنفيذ عملية الحفر . ضغط السائل في الخزان الجوفي المحصور قد يقلل من تأثير تفكك الرمال .

فى حفر بئر الاختبار بطريقة الحفر الدور (Rotary Drill) حساب زمن الحفر يوفر معلومات عن طبيعة التكوينات حيث طبيعة المادة تحدد معدل تقدم الاختراق . الرمال النضيفة تخترق عادة بسرعة أما الرمال المختلطة بالطين فيكون معدل الاختراق أبطأ ، الرمال للمفككة تخترق بسرعة من الرمال المتماسكة والطيني والمحار المتماسك والصخور الضلابة تخترق ببطء أكثر من أى مادة . حساب زمن الحفر يتم كمنحنى أو مخطط يوضح زمن الاختراق لكل طول من أعمدة الحفر (Drilling rod) . أى تغيير واضح يوضح للتغير فى المادة الجارى حفرها . قمة وقاع وسمك كل نوع من أنواع التربة يمكن حسابها بالتقريب من المخطط أو المنحنى . كل حفار يلاحظ سواء كان معدل الحفر سريع أو بطئ ثم يفسر هذه المعلومة بطريقة تعتمد على الخبرة ، ولكن قيمة التسجيل للحفر المتتالى لزمن الحفر لكل مرحلة يمكن للتنبؤ به .

العوامل الأخرى ذات التأثير على معدل الحفر بخلاف طبيعة تكوينات التربة .
النقل على قطعة الحفر (Bit) ، مدى حدة قطعة القطع (Sharpness Of the bit) ، قطر الحفر ، نوع قطعة الحفر ، سرعة الدوران ، السرعة خلال قطعة فونية للحفر (Nozzle) . فمثلاً يزداد الوزن على قطعة الحفر كلما زاد عمق الحفر وإضافة ماسورة حفر إضافية ، وبذلك تزداد سرعة الاختراق . تقييم حساب الزمن هو مسألة نسبية ، وإن كان الزيادة المتدرجة فى الوزن على قطعة الحفر ليس لها تأثير كبير للاستفادة بالنتائج

فى حالة الدفع الهيدروليكي إلى أسفل عدد اختراق التكوينات الصلبة عندئذ يؤخذ فى الاعتبار القوة المستخدمة وتسجيلها لتقييم النتائج . إن التسجيل الحذر للوقت يبين أن ليس للعوامل الميكانيكية المذكورة سابقاً تأثير عدا الدفع الهيدروليكي وطبيعة تكوينات التربة للمخترفة . ولأفضل النتائج يجب المحافظة على ثبات هذه العوامل تقريباً بما يجعل الحفر يتقدم تحت ظروف ولحده تقريباً .

طرق حفر بئر الاختبار وطرق أخذ العينات.

لا توجد طريقة واحدة مناسبة للحفر فى كل الحالات وعادة يستخدم طريقتين مختلفتين لحفر نفس بئر الاختبار . فمثلاً أخذ العينات بواسطة عمود البريمة (Solidstem Augers) حتى منسوب خط المياه الاستاتيكي ، يليه طريقة الدوران المباشر باستخدام سائل الحفر . القاعدة الأساسية لنجاح اختبار الحفر هو دقة العينات وسرعة الحفر .

عينات للتربة يمكن أن تؤخذ بطرق مختلفة طبقاً لنوع قطعة الحفر المستخدمة (rig) . بالنسبة للتربة المتماسكة تكون العينة الواقعة بما تمكن من اختيار فتحة المصفاة بالنسبة للتربة الصخرية تكون العينة الواقعة بما تكون من تقدير فتحه المصفاة لدخول المياه إلى البئر وذلك بإظهار الشقوق أو للتربة الأكثر نفاذية .

طريقة الدوران المباشر، Direct Rotary Method

تستخدم هذه الطريقة لحفر بئر الاختبار وهى مناسبة للتربة الغير متماسكة والتي لا تحتوى على كتل حجرية . وهى المستخدمة لحفر بئر اختبارى أكثر عمق عن ٣٠٥ متر (١٠٠٠ قدم) . طريقة الدوران المباشر لحفر بئر الاختبار ذات قطر ٦-٤ بوصة. وعيوب هذه الطريقة أنه لا يمكن قياس منسوب المياه الاستاتيكي بدون إنشاء قيسون مع إزالة معظم سائل الحفر. جمع العينات الممثلة للواقع عند الحفر بطريقة الدوران المباشر تمثل عدة مشاكل، حيث يتوقف الحصول على عينات واقعية على مهارة وخبرة القائم بالحفر. حيث يصعب الحصول على عينات واقعية على عمق أكثر من ١٨٣ متر. عينات الرمل أو للزلط والرمل يتم غسلها إلى حد ما بواسطة سائل

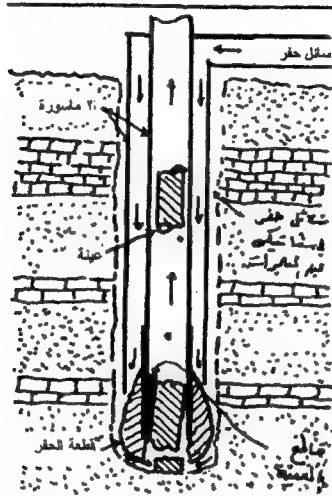
الحفر مع نقلها إلى أعلى من قاع الحفر بالإضافة إلى فصل الرمال الناعمة عن الخشنة والتي تصعد أولاً. لذلك يتم أخذ العينات على مرحلتين في المرحلة الأولى يتم تدوير السائل إلى رفع كل التربة المخلطة بالسائل. ثم يبدأ تشغيل الحفر إلى مسافة محددة مثلاً لعمق ١,٥ متر كل التربة لكل مرحلة يتم الحصول عليها مع استمرار التدوير بدون حفر . وذلك مع استمرار ماسورة الحفر في الدوران بدون الحفر للمحافظة على التدفق المنتظم . يتم الحصول على العينات مع التخلص من سائل الحفر بعد ترك العينة لترسب ثم الخلط الجيد للعينة ثم توصيفها وتسجيل ذلك على سجل البئر (Well log) . السرعة المناسبة لصعود السائل هي من ٣٨ إلى ٦١ متر في الدقيقة .

أخذ العينات من اجناب الحفر : Side Well Coring

في هذه الطريقة تؤخذ العينات باستخدام بندقية خاصة مجهزة بتجهيز أخذ العينات حيث تنخفض إلى عمق الحفر . بعد الإطلاق كهربائياً فإن الطلقة تظل عالقة . يمكن أخذ العينات من قلب التربة والتي تختبر من ناحية النفاذية والتوصيل الهيدروليكي .

طريقة الحفر بالقيسون المزدوج Dual Wall Method

الحفر بطريقة الحفر الدوارة باستخدام تجهيزات الحفر (Drilling Rigs) المزدوجة بـماسوريتين . في هذه الطريقة تكون ماسورة الحفر وقطعة الحفر متصلتين بحيث النظم في آن واحد . يستخدم الماء أو الهواء كسائل حفر . الاستعادة المستمرة للعينات يكون سهل عند استخدام الهواء كسائل حفر . وذلك بسبب الدفع المستمر لقطع عينات التربة إلى ماسورة الحفر مع عدم التلوث بالتربة من الحفر العلوي . يمكن جمع العينات من أعماق أكثر من ٤٠٠ متر . لا يتم سحق العينة وفي حالة استخدام الماء كسائل حفر يجب أن يكون نظيفاً . سائل الحفر يدور إلى أسفل بين الماسورتين ويرتفع في الماسورة الوسطى مما يدفع العينات إلى السطح . تجهيز قطعة الحفر بتجهيز كسر آلية التي تعمل على فواصل ٥ بوصة والتي ترفع العينات بواسطة سائل الحفر . وبهذه الطريقة يمكن الحصول على عينات حتى عمق ٦٠٠ متر شكل (٢-١) .



شكل (١-٧) في هذه الطريقة لأخذ العينات باستخدام قطر حفر من الكريد

الحفر بالبريمة Auger Drilling

يستخدم الحفر بالبريمة في حفر آبار الاختبار لأسمات الكبارى والطرق والإنشاءات الأخرى . واستخدام الحفر بالبريمة زاد بالنسبة لاستكشاف المياه الجوفية الضحلة نظراً لسرعة تركيب بريمة الحفر ، وكذلك سرعة الاختراق ، يمكن أخذ العينات عند أى عمق مع تقدم الحفر . أقصى عمق هو ٧٦,٢ متر . يمكن الحصول على العينة بطرق مختلفة من هذه الطرق هو رفع قطعة الحفر (البريمة) من أن لآخر لأخذ العينات الملتصقة بها.

تداول العينات : يكون وزن العينة من ٢٢٥ إلى ٤٥٠ جرام مع توصيفها جيداً . يتم التخلص من المياه قبل إرسال العينة إلى المعمل ولا يتم غسيل العينة . ويتم تسجيل عمق الحفر للعينة وسك طبقة العينة ، وكذلك وجود سائل حفر .

طريقة الاستكشاف الجيوفيزيائية (Geophysical Exploration Methods)

تستخدم طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي إما قبل أو أثناء إنشاء البئر للحصول على معلومات عن طبيعة التربة وعن وجود والخصائص الكيمائية للمياه الجوفية ، كما تقيد بعض الطرق في تحديد تأثير إنشاء البئر . بعض الطرق تتم على سطح التربة وأخرى تحتاج بئر اختبار . وبصرف النظر عن الطريقة المستخدمة فكلها تعتمد على مقارنة الخواص الطبيعية والكيمائية للماء ومختلف طبقات التربة . تقسم طرق الاستكشاف الجيوفيزيائية إلى عدة أقسام وهي الميكانيكية ، للكمية (gravimetric) ، الكهربائية ، السنوية ، الحرارية ، السمعية (acoustic) . ويتم تحديد الطريقة طبقاً لنوع المعلومات المطلوبة ، طبيعة التربة الحاملة للمياه وسائل الحفر .

طرق الاستكشاف السطحي ، Surface Geophysical Methods

انعكاس وانعكاس الموجات السيزمية : Selsmic Refraction\Reflection

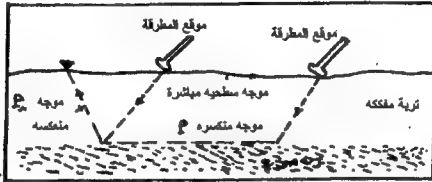
طرق انعكاس الموجات السيزمية تستخدم لتعيين سمك ومدى تماسك مادة التربة الحاملة . الاستكشاف السيزمي مبني على توزيع السرعة بالتوليد الصناعي لموجات زلزال على الأرض . يمكن عمل موجات زلزال بالطرق على لوح معدني ، باستخدام كرة ثقيلة أو باستخدام المفرقات . الطاقة من هذه المصادر تنتقل خلال التربة بواسطة موجات الاستيكية (Elastic Waves) . كمية للطاقة منخفضة نسبياً مقارنة بالطاقة الناتجة عن الزلزال . الموجات تسمى موجات إلهستكية نظراً لأنه عند مرورها على نقطة في الصخر فإن الحبيبات يحدث لها إزالة وقتية ثم تعود سريعاً لوضعها الأصلي بعد مرور الموجة . يمكن إنتاج ثلاثة أنواع من الموجات وهي موجات الانضغاط P (Compressional) وموجات القص S (Shear) والموجات السطحية . وصول هذه

الموجات يبين بواسطة جهاز قياس الصوت الناتج من للتربة (Geophones) أو باستخدام مقياس للزلازل (Seismometers) المثبت على سطح الأرض .

موجات الانضغاط هي الأولى التي تصل إلى جهاز مقياس الصوت وهي الأكثر استخداماً في الاستكشاف . عموماً كلما زادت الكثافة وللدونة للصخر ، كلما زادت سرعة انتقال موجة الانضغاط . تنخفض السرعة كثيراً وتنشئت الطاقة بسرعة في حالة للتربة غير متماسكة أو ضعيفة التماسك .

تأخذ موجة الانضغاط ثلاث ممرات واضحة في التربة : مباشرة (سطحية) ، منكسرة ، ومعموسة . في حالة طبقتين من للتربة فإن الممرات الثلاث للموجات موضحة في الشكل (٢-٢). يتوقف وقت الوصول الصحيح للموجات السيزمية على أي من الممرات الذي ستخذه وكثافة المادة . نبضة سيزمية واحدة يمكن تسجيلها كثلاث موجات منفصلة (طبقاً لوصولها) في جهاز التسجيل . عمليات الموجة التي تصل أولاً هي التي تسجل بسرعة . تستخدم موجات الانكسار في الاستكشاف ، حيث تصل الموجات المباشرة (السطحية) بعد موجات الانكسار والانعكاس على جهاز استقبال الموجات وذلك نظراً لأن المواد السطحية عادة تكون أقل كثافة من المواد العميقة . ونظراً لأن الموجات السطحية لا تعطى معلومات عن الخزان الجوفي لذلك يستفاد بموجات الانكسار والانعكاس لإعطاء المعلومات عن الخزان الجوفي .

عند الاستكشاف بالانكسار يتم قياس الزمن الذي تستغرقه الموجة السيزمية للوصول إلى واحد أو أكثر من أجهزة الاستقبال الموضوعة على مسافات معلومة من مصدر الموجة السيزمية . مع توقيع العلاقة بين الوقت - الزمن يمكن تقدير عمق التكوينات الجيولوجية المختلفة في مكان محدد ، كل نوع من أنواع للتربة له سرعة سيزمية خاصة والتي تؤثر على زمن الوصول بعض أنواع السرعات السيزمية للمواد جدول (٢-٢) .



شكل (٢-٢) الموجات السيزمية السطحية والمنعكسة والمنكسرة

جدول (٢-٢) المجال التقريبي للسرعة للموجات المنعكسة لبعض مواد للتربة

المادة	السرعة متر / الثانية
تربة سطحية	٣٠٥ - ٦١٠
زلط ، رمل جاف	٤٥٧ - ٩١٥
رمل رطب	٦١٠ - ١٨٣٠
طيني	٩١٥ - ٢٧٤٠
الماء طبقاً لدرجة الحرارة ونسبة الأملاح	١٤٣٠ - ١٦٨٠
مياه البحر	١٤٦٠ - ١٥٢٠
حجر رملي	١٨٣٠ - ٣٩٦٠
حجر جيري	٢١٣٠ - ٦١٠٠
ملح	٤٢٧٠ - ٥١٨٠
جرانيت	٤٥٧٠ - ٥٧٩٠
صخور تحويلية	٣٠٥٠ - ٧٠١٠

الاستكشاف بالموجات الكهرومغناطيسية ، Electromagnetic Surveys

يوجد طريقتان لاستخدام الموجات الكهرومغناطيسية في البحث عن المياه الجوفية وتلوث المياه الجوفية ، والاختلاف بينهما مبنى على تردد التشغيل ، عند

التردد العالي جداً تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في التربة في خط مستقيم إلى أعماق تختلف من بضعة أمتار إلى عدة عشرات من الأمتار طبقاً للتوصيل الكهربى للتربة . أجهزة التردد للموجات تسمى رادار الاختراق للتربة . وعند التردد المنخفض فإن الاختراق يكون لعدة آلاف من الأمتار ولكن في هذه الحالة يكون لاختراق الموجة (Microwave) بطى في الأرض أكثر من السير في خط مستقيم . الأجهزة المستخدمة فى هذه الحالة تسمى أجهزة قياس التوصيل للتربة Ground Conductivity Meters . استخدامات الموجات السيزمية يماثل انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية .

نظراً لأن كليهما يسجل الوقت اللازم لانتقال الموجة على سطح التربة ثم انعكاسها على السطح . ولكن مولجة الموجة السيزمية هى سرعة الموجة السيزمية والسنى تتوقف على كثافة التربة على كلاً جانبى للمواجهة . على الجانب الآخر فإن الموجة الكهرومغناطيسية تعرف عند التردد العالي جداً بأنها التغيرات فى التوصيل الكهربى ، النفاذية للمغناطيسية ، العزل الكهربى ، وهذه العوامل الثلاثة تشكل المقاومة الظاهرية . تنتقل الموجة الكهرومغناطيسية خلال الأرض بسرعة تساوى سرعة الضوء ، ولكن الموجات السيزمية تنتقل بسرعة الصوت ، ولذلك فإن زمن الانتقال يجب قياسه بمنتهى الحرص . يمكن للحصول على البيانات باستخدام الموجات الكهرومغناطيسية بتنفيذ الحسابات بالكمبيوتر . يستخدم جهاز الموجات الكهرومغناطيسية لقياس التوصيل لمواد التربة وهو لا يتطلب الالتصاق المباشر بالأرض عند جمع البيانات ، ولهذا يمكن الحصول على المعلومات بسرعة فى المناطق المرتفعة وفى المناطق العشوائية وفى مختلف الأجواء ..

طريقة المقاومة الكهربائية ، Electrical Resistivity Method

طريقة المقاومة الكهربائية هى أكثر الطرق الجيوفيزيكية استخداماً فى استكشاف المياه الجوفية .. وهى عبارة عن مقاومة للوسط الجيولوجى بالنسبة للتيار عند استخدام فرق جهد (فولت) .

$$R = \frac{V}{I}$$

حيث R = المقاومة ، V = الفولت ، I = التيار ، النوع مادة (تربة) معينة ذات خصائص مقاومة ، فإن المقاومة تتناسب مع طول المادة الجارى قياسها وتتناسب عكسياً مع مساحة المقطع .

$$\left[R = \frac{PL}{A} \right] \quad \frac{RA}{L} = P \quad \text{أو} \quad \frac{PL}{A} = R = P$$

حيث P = خصائص المقاومة للمادة الجيولوجية ، A = مساحة المقطع ، L = الطول ، وحدات المقاومة هي الأوم - قدم أو أوم - متر .

فى الاستكشاف بالمقاومة ، يتم إرسال تيار كهربى ثابت أو تيار منخفض التردد خلال التربة بين قطبين . نظراً لما تحدثه مادة التربة من مقاومة لمرور التيار ، فإنه يحدث فقد فى الفولت مع مرور التيار من قطب إلى آخر . الفقد فى الفولت (الجهد) الناتج عن مرور التيار فى التربة يتم قياسه بأقطاب أخرى توضع بين أقطاب التيار . درجة الصخر فى توصيل التيار تتوقف على ثلاث عوامل : كمية النفاذية فى الصخر ودرجة الاتصال بين الفراغات وحجم المياه فى هذه الفراغات وقدرة توصيلها الكهربى . المياه وخولصها للكميائية هى العامل الرئيسى للتوصيل الكهربى نظراً للمقاومة الكهربائية للصخور . ولهذا تزداد المقاومة فى الرمل والطين الجاف عن الرمل والطين المشبع . وتتنخفض المقاومة الكهربائية مع النفاذية ، والتوصيل الهيدروليكي والمحتوى من المياه وملوحة المياه . قيمة المقاومة لمختلف المواد كما فى الجدول (٢-٣)

جدول (٢-٣) مجال قيم المقاومة لبعض مواد التربة

المادة	المقاومة أوم - متر
طينى	من ١ إلى ١٠٠
الطين الرملي (Loam)	من ١٠ إلى ٧٥
تربة سطحية	من ٧٥ إلى ٢٥٠

المقاومة أوم - متر	المادة
من ١٠٠ إلى ٥٠٠	تربة طفالية
من ١٠٠٠ إلى ٧٠٠٠	تربة رملية
من ١٠٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠	رمال مفككة
من ١٠٠ إلى ٧٠٠٠	حجر جبرى
من ١٠٠٠ إلى ٢٠٠	بازلت

قيم المقاومة يمكن معرفتها بطريقتين مختلفتين بالاستكشاف السطحي . أحد هذه الطرق الذى يسمى الرنين الرأسى (Vertical Sounding) وهو الاستكشاف الرأسى . يمكن الحصول على قيمة المقاومة بطريقتين للاستكشاف السطحي . الأولى هى الرنين السطوى تتم بالاستكشاف الرأسى حيث للقطبين الخارجين هما أقطاب التيار والقطبين الداخلين هما أقطاب الجهد (Potential) . فى حالة مرور تيار إلى الأرض خلال القطبين C1 , C2 شكل (٣-٢) يمكن قياس فرق الجهد فى القطبين P1 , P2 يلاحظ أن للتيار لا يسير فى اتجاه مستقيم فإنه ينتشر فى شكل مروحة من أحد القطبين ثم يجمع عند القطب الآخر ثم يترك التيار الأرضى . نظراً لاختلاف المكونات الجيولوجية فى مقاومة تنفسق للتيار ، فإنه يحدث خفض فى الجهد (الفولت) . المقاومة للظاهرةية (Pa) يتم الحصول عليها من النسبة ما بين الفولت والتيار مضروباً فى المسافة بين الأقطاب (a)

$$Pa = \frac{6.28 av}{I}$$

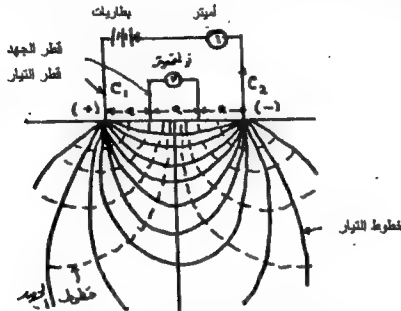
المقاومة هى متوسط مقاومة التربة بكل أنواعها أعلا من هذا العمق . مع تغير قيمة المقاومة فإن ذلك يوضح تغير فى حالة التربة أعلاها . كل قيمة توضح متوسط المقاومة ٣ إلى ٦ متر من المقطع الرأسى لتكوينات التربة . وهذه القيمة قد تكون لأكثر من مادة من مواد التربة والماء . وهذا يظهر أهمية الخبرة للتفسير الصحيح للقراءات . كلما زاد الفاصل بين الأقطاب زاد عمق الاختراق للكهربى . لذلك يزداد

للفاصل بين الأقطاب على مراحل لتعيين للتغيرات مع زيادة العمق .
 فى طريقة الرنين الكهربى يتم إقامة عدة محطات مع تسجيل دقيق للبيانات . ثم
 توضع هذه البيانات على مخطط رأسى بمقارنة قيمة المقاومة يمكن التعرف على نوع
 للتربة أسفل سطح الأرض .

الطريقة الثانية للاستكشاف بالمقاومة تسمى المقاومة الجانبية (Electrical Profiling) .
 فى هذه الطريقة يتم الاستكشاف على عمق واحد ، حيث يمكن الحصول
 على نوعية مسود التربة على عمق ثابت . وتستخدم هذه الطريقة فى البحث عن
 الخامات وفى الدراسات الجيولوجية . الاستكشاف السطحى بالمقاومة سواء الجانبى أو
 بالرنين له فوائد ومزايا كثيرة . حيث يمكن تغطية مساحات كبيرة بسرعة وبتكاليف
 زهيدة . يمكن تعيين خط للمياه على عمق حتى ٥٠ متر من سطح الأرض .

الاستكشاف السطحى بالمقاومة سواء بالصوت أو الجانبى له فوائد حيث يمكن
 تغطية مساحات كبيرة بتكاليف معقولة ، كما يمكن تعيين متسوب خط للمياه فى معظم
 الحالات فى حدود ٥٠ متر من سطح الأرض ، وكذلك التعرف على نوع التربة .

الطريقة الجيوفيزيائية الأخرى هى طريقة بئر الحفر حيث تستخدم أثناء مرحلة
 الإنشاء لتعيين أنسب مكان لوضع المصفاة وخاصة فى حالة الآبار العميقة وعالية
 الإنتاجية وكذلك تساعد فى تصميم البئر من هذه الطرق طريقة لوجار يتم المقاومة لبئر
 الحفر (Borehole) Resistivity Logs .



شكل (٣-٢) طريقة المقاومة السطحية لاستكشاف المياه الجوفية

يتم تغذية تيار بين قطبي التيار ويتم قياس الجهد عند أقطاب الجهد (الفولت)

ومن هذه الطريقة يتم تعليق قطب واحد أو أكثر في كابل موصل وإنزاله في البئر المملوء بمسائل الحفر . ثم تغذية تيار كهربى لهذه الأقطاب من أقطاب أخرى موضوعة فوق سطح الأرض قريباً من قمة البئر أو بإنزالها للبئر . يتم تسجيل التغير في المقاومة الكهربائية لكل للدائرة مقابل العمق للحصول على منحني يسمى اللوج الكهربى أو لوج للمقاومة.

الفصل الثالث

المناخ الهيدرولوجي لـ مصر

المناء الهيدرولوجى لمصر

تبلغ مساحة مصر حوالى مليون كيلو متر مربع وتنقسم جغرافياً إلى أربع أقاليم وهى (١) الدلتا والوادى شاملة منخفض الفيوم وبحيرة ناصر (٢) الصحراء الغربية شاملة ساحل البحر الأبيض المتوسط والوادى الجديد وتوشكى والعوينات (٣) الصحراء الغربية شاملة سواحل البحر الأحمر والجزر وسلسلة جبال البحر الأحمر (٤) شبه جزيرة سيناء شاملة سواحل البحر الأبيض المتوسط وخليج السويس وخليج العقبة . يتغير المناخ من جاف إلى شديد الجفاف . ترتفع درجة حرارة الهواء إلى أكثر من ٤٠م° وقت النهار فى فصل الصيف وتادراً ما تصل إلى درجة الصفر فى فصل الشتاء . متوسط سقوط الأمطار على مصر ككل هو فقط ١٠ ملليمتر فى العام . وعلى الساحل الشمالى حيث معظم الأمطار فإن متوسط سقوط الأمطار هو أقل من ٢٠٠ ملليمتر فى العام بالذى يقل بسرعة كلما اتجهنا جنوباً . معدل البخر عالى حيث يزيد عن ٣٠٠٠ متر فى العام .

تشمل هيدروغرافية مصر نظامين هما النظام المتعلق بالنيل والنظام المتعلق بالزمن المطير فى الأزمنة الجيولوجية الماضية .

النظام المتعلق بالنيل يشمل الوادى والدلتا وهى منخفضات مورفولوجية . فى المساحة الفيضية يوجد نظام صرف فى المناطق المنزوعة وهذه تمتد إلى الأجناب حيث استصلاح الأراضى . نظام الصرف بعضها يصرف فى النيل نفسه أو فى البحر .

النظام الهيدروغرافى الآخر فى مصر هو الشبكة المعقدة للمجارى الجافة (الوديان) والذى يرجع تكوينها إلى العصر المطير وهذا النظام يغطى أكثر من ٩٠% من مساحة مصر ويشمل الصحراء الشرقية والغربية وسيناء . وهذه للمساحات تصرف فى اتجاه وادى النيل والدلتا إلى المناطق الساحلية وإلى المنخفضات .

اللاندرى مكبى فى مصر يمكن تقسيمه إلى المرتفعات والمناطق المستوية ، التى تشمل كذلك المساحات الساحلية . وهذه التقسيمات لها تأثير على الإطار العام

الهيدرولوجي لمصر . المرتفعات تشكل المساحات النشطة والشبه نشطة في الاستمطار . المناطق المستوية بها أنشطة زراعية وعلى الأجناب يتم استصلاح أراضي من مياه النيل أو المياه الجوفية .

الإطار الهيدرولوجي (Hydrological Framework)

الإطار الهيدرولوجي لمصر يشمل ستة نظم للخرانات الجوفية .

- ١- الخزان الجوفي النيلي ويشغل منطقة المساحة الفيضية والأجناب الصحراوية حيث يعيش ٩٠% من المصريين .
 - ٢- خزان جوفي الحجر الرملي النوبي ويشغل أساساً الصحراء الغربية .
 - ٣- خزان جوفي المغرة ويشغل أساساً الحد الغربي للدلتا .
 - ٤- الخزان الجوفي الساحلي ويشغل السواحل الشمالية والغربية .
 - ٥- خزان جوفي للكريونات (Karstified Carbonate) : وينتشر هذا الخزان الجوفي في الجزء الشمالي من الصحراء الغربية .
 - ٦- خزان جوفي الصخور الصلبة المفتتة وينتشر في الصحراء الشرقية وسيناء .
- ونظراً لوجود المياه في ظروف مختلفة في مختلف التكوينات الجيولوجية المختلفة، لذلك فسيتم مناقشة هيدرولوجية هذه التكوينات كالتالي :

خزان جوفى النيل ،

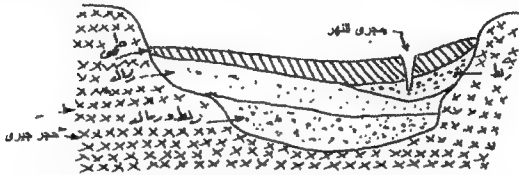
يوضح الشكل (١-٣) مقطع في جيولوجية خزان جوفي وادى النيل . يتكون خزان جوفي النيل من الزلاط والرمال المتدرج بينما امتداده على الأجناب في الصحراء يشمل رواسب . في وسط المستوى الفيضى يكون الخزان الجوفي شبه محصور (Semi Confined) حيث يصل سمك طبقة الطمي الرملي في المتوسط إلى ١٠ متر . والطبقة السفلى للخزان الجوفي من الطمي البحري . أقصى سمك لطبقة للتشبع هو ٣٠٠ متر فى الودادى و ٨٠٠ متر فى الدلتا . قدرة انتقال المياه فى الخزان الجوفى تتراوح ما بين ٢٠٠٠٠ متر مربع فى اليوم فى وسط المستوى الفيضى إلى أقل من ٥٠٠ متر مربع فى اليوم عند الأطراف .

متوسط منسوب المياه الجوفية ينخفض بالتدرج من ٦٥ متر عند أسوان إلى ١٥ متر عند القاهرة ثم يصل منسوب خط التشبع للمياه إلى حوالى ١ متر فى شمال الدلتا. السدق العام للمياه الجوفية هو من الجنوب إلى الشمال ولكن يوجد حيود فى الاتجاه بعيداً عن مجرى النيل حيث يكون اتجاه للتدفق من الجنوب الشرقى إلى الشمال الغربى نحو دلتا النيل . المصدر الرئيسى لتغذية خزان جوفى النيل هو مياه الرى . وتختلف التغذية طبقاً لنوع التربة ، مصدر مياه الرى ، طريقة الرى وتوفر شبكة الصرف . فى التربة الرملية حيث الرى الحوضى من النهر مع عدم وجود شبكة صرف يكون الفقد بالتسرب ما بين ١ إلى ٢,٥ ملليمتر فى اليوم .

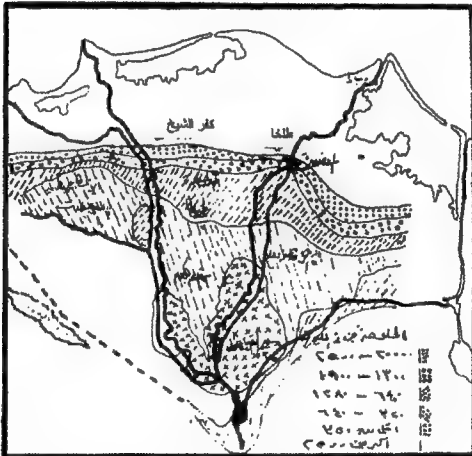
وفى المناطق الطفالية حيث يوجد نظام صرف يكون الفقد بالتسرب أقل من ٠,٥ ملليمتر فى اليوم . السحب من خزان جوفى النيل يتم إما بالتسرب إلى النيل (أكثر من ٣ مليار متر مكعب فى العام) أو السحب باستخدام آبار المياه ، أو للتسرب العلوى للمياه الجوفية فى الجزء الشمالى للدلتا أشكال (٣/١ ، ٣/٢ ، ٣/٣ ، ٣/٤) توضح حالة المياه فى الوادى والدلتا . الشكل (٣/٤) يوضح خطوط الملوحة المتساوية فى الدلتا .

خزان جوفى الحجر الرملى النوبى ،

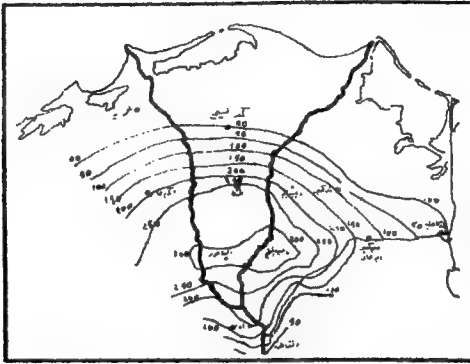
يشغل خزان جوفى الحجر الرملى النوبى ما لا يقل عن ٣٠% من المساحة السطحية لمصر وجزء كبير من تحت السطح . وهو يمتد خارج الحدود إلى ليبيا (واحة الكفرة) والجزء الشمالى من السودان (واحة مالىما) . فى مصر خزان جوفى الحجر الرملى النوبى متعدد الطبقات أسفل طبقة صخرية . إقليمياً يتراوح السمك بين أقل من ٥٠٠ متر فى الجنوب إلى أكثر من ٣٥٠٠ متر فى الشمال حيث يتأثر الخزان الجوفى بدخول مياه البحر . فى منطقة الوادى الجديد ينقسم الخزان الجوفى إلى ثلاث خزانات جوفية رئيسية منفصلة .



شكل (٣-١) قطاع لوادي النيل قرب بني سويف يوضح أن الوادي عبّره عن قناة في الصخور الجيرية
ممثلة برواسب من الرط والرمل والطمي



شكل (٣-٢) متوحي المياه الجوفية في اللبنا (جزء في المليون)



شكل (٣-٣) مخطط يوضح سمك طبقة المياه العذبة في خزان جوفى في اللدنا بواسطة عدسات شبه نفاذة من الطفل كما في الجدول (٣-١) .
جدول (٣-١) خصائص خزان جوفى للحجر الرملي للنوبي :

الامتثال متر مربع في اليوم	السمك بالمتر	الخزان الجوفى
٥٠٠-١٠٠	٢٠٠	للعلوى
٢٠٠٠-٥٠٠	٤٠٠	الأوسط
١٠٠٠-٣٠٠	٦٠٠	المنفلى

الطاقة التخزينية لخزان جوفى للحجر الرملي للنوبي تقدر ٢٠٠٦٠٠ مليار متر مكعب منها ٢٠٠٠٠٠ مليار متر مكعب في الصحراء الغربية و ٥٠٠ مليار متر مكعب في الصحراء الشرقية و ١٠٠ مليار متر مكعب في سيناء . معظم الاستكشافات أثبتت أن هذه المياه هي مياه طبيعية (Fossil) غير متجددة ويتراوح عمرها ما بين ٢٠٠٠٠ إلى ٤٠٠٠٠ سنة . وعلى الجانب الآخر فإن التصريف من هذا الخزان يتم إما بالعيون والبحر، للتسرب إلى خزانات جوفية أخرى والضخ . ويقدر الضخ السنوى

بحوالى نصف مليار متر مكعب سنوياً .

خزان جوفى المغرة (Moghra Aquifer) ،

يشغل خزان جوفى المغرة معظم المنطقة غرب الدلتا وجنوب منخفض القطارة ، مساحته الكلى حوالى ٢٠٠٠ كيلو متر مربع . وهو يمتد كذلك إلى غرب الفيوم ، وشمال الولايت البحرية . وللتربة رملية ، زلطية ، طفلية وطبقات من الطفلة والحجر الجبرى . فاع للخزان الجوفى من البازلت أو من طبقات الطفلة الصماء . المياه الجوفية عموماً تحت ظرروف شبه محصورة . سمك طبقة التشبع للخزان الجوفى يتراوح ما بين ١٠٠ إلى ٨٠٠ متر . للتوصيل الهيدروليكي يتراوح ما بين ٢٥ متر فى اليوم (وادى الفارغ) إلى واحد متر فى اليوم (منخفض القطارة) . للعمق حتى منسوب خط التشبع للمياه الجوفية ما بين ١٠ متر قريباً من الدلتا إلى حوالى ٦٠ متر عند منخفض القطارة .

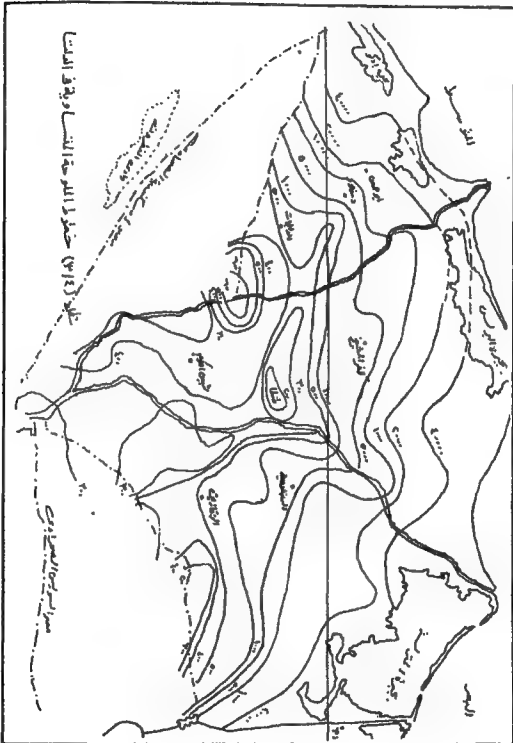
المياه الجوفية فى خزان جوفى المغرة أساساً مياه طبيعية قديمة مع تسرب قليل وتغذية على الحدود مع خزان جوفى الدلتا . السعة للتخزينية لخزان جوفى المغرة هى حوالى ٨٠٠ مليار متر مكعب منها حوالى ١٠٠ مليار متر مكعب فقط مياه عذبة.

الخزان الجوفى الساحلى (Coastal Aquifer) ،

يوجد الخزان الجوفى الساحلى فى شكل جيوب محلية منتشرة فى المناطق الساحلية لكل من البحرين الأبيض والأحمر ، فى المنطقة لغربية الساحلية شكل (٥-٣) تتكون التربة من الحجر الجبرى يملوه طبقة من الحجر الرملى . وللقاعدة من الحجر الجبرى الصلب . السمك الكلى للطبقة الحاملة للمياه هو حوالى ٤٠ متر . المياه الجوفية عموماً تكون فى شكل عدسات سابحة فوق مياه البحر . تتوقف للتغذية للخزان الجوفى على سقوط الأمطار المحلية والسحب يتم إما بالبحر أو بالتدفق إلى البحر وكذلك بواسطة الآبار الرومانية والسرانديب (Galleries) . السحب الكلى للمياه الجوفية بالآبار حوالى ٨٠٠ مليون متر مكعب فى العام فى المنطقة الساحلية لشمال سيناء يمكن التعرف على أربع خزانات جوفية (١) الخزان الجوفى للضحل للكثبان الرملية بطاقة

تخزين ٢ مليون متر مكعب ، (٢) خزان جوفى الغرين الطمي (Alluvial) فى دلتا وادى العريش وله طاقة تخزين ١٠ مليون متر مكعب (٣) الخزان الجوفى من الحجر الجيرى وله طاقة تخزين ١٠ مليون متر مكعب (٤) خزان جوفى للرملى والزلطى ذو المياه المالحة أساساً . ويتم للتغذية لهذه الخزانات أساساً من مياه الأمطار ، وصرف هذه الخزانات يتم خلال الصرف إلى البحر والبحر والآبار والقنوات . فى سيناء وفى وادى رفعت حوالى ٦٠٠٠ كيلو متر مربع للتربة من الحجر الرملى والحجر للرملى النوبى . المياه الجوفية عموماً مياه مملحة (Brakish) . للتغذية من مياه الأمطار حوالى ١٠٠ مليون متر مكعب فى العام .

فى المنطقة الساحلية غرب خليج السويس (٤٠٠٠ كيلو متر مربع) للتربة من الحجر الرملى النوبى والتغذية من مياه الأمطار والصرف أساساً باصطياد المياه الجوفية (abstraction) حوالى مليون متر مكعب فى العام . وفى المنطقة للساحلية للبحر الأحمر حوالى ٥٠٠٠ كيلو متر مربع شكل (٧) التربة من الحجر الجيرى والسطح العلوى مفتت للتغذية أساساً من مياه الأمطار (جبل علبة) والتي تقدر بحوالى مليون متر مكعب فى العام . والصرف فى شكل تصريف إلى البحر أو الضخ .

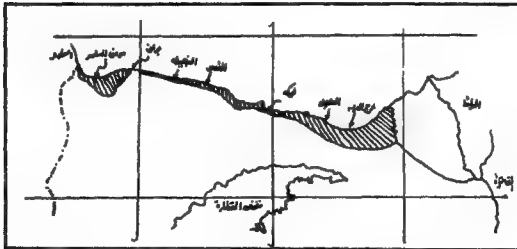


خزان جوفها الكربونات .

تغطي الكربونات أكثر من ٥٠% من المساحة السطحية للصحراء الشرقية والغربية، مع الوجود في بعض الأماكن للقليلة في سيناء . ويتخلل مقطع الكربونات بطبقات من المحار والحجر الصلب (Flint Beds) . يكثر بهذه للتكوينات الشقوق ولذلك تتكون العيون . لم يتم حتى الآن استكشاف خزان جوفي للكربونات .

خزان جوفها الصخور الصلبة .

توجد الصخور الصلبة فقط في جنوب سيناء ومنطقة البحر الأحمر . كما يوجد صخور مشتملة على سولحل بحيرة المد العالي ، الجزء الجنوبي من الصحراء الغربية . أما في المناطق تحت السطحية قد سجل وجود الصخور الصلبة في أماكن مختلفة . المسيل السطحي في اتجاه الشمال وتقطعة طبقات أخرى . الصخور الصلبة تشمل كل أنواع الصخور النارية والتحولية . نظراً لعدم توفر الاستكشافات فإن المعلومات المتوفرة عن الصخور الصلبة قليلة جداً . ولكن يمكن اصطباح حوالي ١٠٠ مليون متر مكعب من الصخور الصلبة في جنوب سيناء . وتوجد احتمالات أخرى في الصحراء للشرقية .



شكل (٥-٣) الخزان الجوفي للساحل الشمالي الغربي

نوعية المياه الجوفية ونلوؤها بمناطق الاطماء والنخوج :

التغير فى نوعية المياه الجوفية يكون نتيجة تأثيرات طبيعية أو بفعل الإنسان . المصدر الرئيسى للمياه الجوفية هى الترسيبات والتدفق أسفل السطح . أثناء حركة المياه خلال التربة والمنطقة الغير مشبعة فإن مياه الأمطار تذيب المواد القابلة للإذابة أو تذيبها بالتفاعل الكيميائى . لذلك تتغير نوعية المياه طبقاً لهذه التفاعلات كما فى حالة التبادل الأيونى والاختزال وترسيب الأملاح . بمجرد الوصول إلى منطقة التشبع فإن المياه تنتشر وتتحرك طبقاً للتدرج الهيدروليكي . للمياه فى الخزان الجوفى تستمر فى إزابة الأملاح التى تلتصق بها . لذلك فإن تركيز المياه يزداد عما كان عليه فى منطقة الشحن . ولهذا فإن اتجاه تدفق المياه الجوفية يكون عموماً فى اتجاهات المساحات ذات الأملاح الكلية المذابة العالية . ولكن هذا التغير غير ثابت وقتياً ومكانياً . للتغيرات المحلية فى جيولوجية التربة والأنشطة بفعل الإنسان تجعل معدل ودرجة التغير فى نوعية المياه كبيرة جداً .

بجانب التأثيرات الطبيعية للمناخ الهيدرولوجى فإن الأنشطة البشرية لها كذلك آثارها الواضحة على نوعية المياه . الاستخدام وإعادة استخدام المياه للأغراض المنزلية والصناعية والزراعية تسبب الصرف للمخلفات السائلة والصلبة فى المناخ الهيدرولوجى بما يؤثر على نوعية كلاً من المياه السطحية والجوفية والتى تتغير باستمرار بسبب التغذية للخزانات الجوفية بالمياه العذبة والمعاد استخدامها (وهذه تشمل مياه الري وتسرب مياه الصرف) . فى تجمعات المياه الضخمة فإن الجزء العلوى من حوض الماء يكون عموماً ذو طبيعة كيميائية ليكربونات الكالسيوم والأملاح الكلية المذابة تكون منخفضة . مع تحرك المياه إلى أسفل خلال الخزان الجوفى مستقبلاً المياه المعاد استخدامها ومياه الصرف ، تتغير الطبيعة الكيميائية إلى كلوريد الصوديوم . وذلك بسبب أن عمليات الإذابة تعمل على زيادة تركيز الأملاح الأكثر إذابة مثل كلوريد الصوديوم ، وهذا يسبب التغير فى النسبة الأيونية والخصائص الكيميائية للمياه .

نوعية المياه الجوفية فى مناطق الاطماء النيلية والاجناب :

فى وادى النيل لا يوجد إطار إقليمى لنوعية المياه . الأملاح الكلية المذابة تتراوح قيمتها ما بين ٥٠٠ إلى ١٧٠٠ جزء فى المليون . فى أماكن التسرب السطحي للمياه وحيث لا يوجد صرف لوحظ زيادة الملوحة إلى ٢٠٠٠ جزء فى المليون . فى دلتا النيل لوحظ زيادة تركيز الأملاح فى المياه العذبة من الجنوب إلى الشمال . كما لوحظ كذلك زيادة الملوحة بالتدرج بالنسبة للعمق . عموماً فإن أصل المياه الجوفية هو النيل (مياه الرى) التى تتسرب خلال التربة . يحدث فى تركيز الأيونات بسبب البخر والتفاعلات الكيميائية فى أجزاء التربة المشبعة والغير مشبعة .

أنواع المياه الجوفية فى الدلتا .

الكيمويات فى المياه الجوفية فى دلتا النيل والاجناب .

أهم المجموعات هى $(Ca + Mg)$ و $(Na + K + NH_4)$ للكاتيونات و HCO_3^- و CO_3 ، $(SO_4 + NO_3 + NO_2)$ ، Cl للأن أيونات . يمكن استبدال الآن أيونات .
تنقسم المياه الجوفية إلى ثلاث مستويات (+ ، صفر ، -) تبين زيادة ، انتران ، نقص فى $(Na + K + Mg)$. للنقص يبين تسرب مياه البحر بينما الزيادة تبين للتغذية من مياه النيل العذبة (الرى) .

فى الجنوب نوع للمياه الجوفية المحتوية على بيكربونات الكالسيوم وبيكربونات الماغنسيوم يوضح التغذية المستمرة من مياه النيل إلى الخزان الجوفى . فى الشمال يوضح بيكربونات الصوديوم ومخلوط الصوديوم (+) انخفاض التغذية من مياه النيل . هذه المنطقة وشمالها وشرقها وغربها كلوريد الصوديوم بها (+) ، (صفر) فى المياه الجوفية . قرب الساحل فإن كلوريد الصوديوم (-) بما يوضح أن المياه الجوفية استبدلت بمياه البحر . حالة كلوريد الصوديوم (-) فى المياه الجوفية توجد كذلك فى شرق القاهرة بسبب التغذية من الخزانات الجوفية للثلاثية العميقة . فى الوادى توجد أنواع مشابهة من المياه الجوفية باستثناء مياه البحر .

تلوث المياه الجوفية :

العوامل العامة المؤثرة على تلوث المياه الجوفية في المساحة الفيضية للنيل والأجناب الصحراوية هي (١) المؤثرات على المياه الجوفية (٢) الأنشطة بفعل الإنسان .

المؤثرات على المياه الجوفية (Ground Water Vulnerability) :

تعتبر العناصر الآتية هامة في التأثير على المياه الجوفية :

- (١) السخر والتسرب : التغذية للخزانات الجوفية يكون نتيجة التسرب (بالنسبة للخزانات الجوفية الشاطئية) و/أو الرى . وعلى الجانب الآخر فإن بخر المياه ينتج عنه تركيز الأملاح لذلك فإن نوعية المياه المتسربة تكون أكثر تركيزاً .
 - (٢) سمك وطبيعة الطبقة لطفلية العليا : سمك طبقة الطمي في المساحة الفيضية تتراوح ما بين صفر على الجنب إلى حوالى ٢٠ متر فى الوسط . وقد تختلط هذه الطبقة الطفلية بالرمال وتقوم هذه الطبقة بدور هام فى حماية المياه الجوفية وذلك بادمصاص المواد العضوية والتبادل الكاتيونى .
 - (٣) التدفق الرأسى للمياه الجوفية : يتوقف التلوث للمياه الجوفية على التدفق الرأسى كماً ونوعاً . يستحيل حدوث التلوث للمياه الجوفية عند تدفقها لأعلا كما فى حالة شمال الدلتا والأجناب ، ويزداد التلوث عند التدفق لأسفل .
 - (٤) التدفق الأفقى للمياه الجوفية : التدفق الأفقى للمياه الجوفية فى الطمي يكون عموماً ٥٠ متر فى العام . يتوقف التدفق الأفقى للملوثات على التجانس المحلى للترربة ، حركة المياه الجوفية ووجود الطبقات ذات قدرة التوصيل العالية . وعلى الجانب الآخر فإن التكوينات منخفضة النفاذية والقريبة من مصادر التلوث قد تحترق على تركيزات محلية عالية بسبب التشتت .
- الشكل (٣-٣) يبين خريطة للدلتا والأجناب مصغرة من خريطة ١ : نصف مليون . فى منطقة الدلتا يمكن تمييز أربعة مساحات (١) المنطقة الصحراوية المستصلحة حيث المياه الجوفية ما بين المتوسطة والعالية بسبب وجود الرمال ذات

سرعة التسرب العالية وقدرة المصالح منخفضة ، وإن كانت المياه الجوفية عميقة نسبياً . (٢) المساحة التقليدية للمنزوعة حيث المياه الجوفية ما بين المتوسط والمنخفضة بسبب وجود غطاء مغطى .

(٣) المنطقة المتوسطة ما بين الأراضي القديمة والمساحات المستصلحة حيث إمكانية وجود المياه الجوفية عالية بسبب وجود التربة الرملية .وضحالة خط المياه الاستاتيكي .

(٤) الجزء الشمالي حيث إمكانية وجود مياه جوفية منخفضة جداً بسبب وجود غطاء من الطمي العلوي بالإضافة إلى التفتق العلوي للمياه .

يمكن كذلك دراسة إمكانات المياه الجوفية في الوادي وتقسيمها بطريقة مشابهة طبقاً للثلاث حالات السابقة فقط حيث لا يوجد تفتق علوي .

الأنشطة بفعل الإنسان

الأنشطة بفعل الإنسان المسببة لتلوث المياه الجوفية هي مياه الصرف الصحي والصرف الزراعي والصرف الصناعي هذا بالإضافة إلى أن المياه الجوفية نفسها قد تسبب تلوث للمجال المحيط كما في حالة شمال الدلتا حيث تتسرب المياه الجوفية إلى أعلا نحو التربة وإلى شبكات الري والصرف .

الزراعة : معظم أراضي المساحة الفيضية للنيل بها أنشطة زراعية . يستخدم السماد النيتروجيني أساساً لزراعة الأرز ، القمح ، الذرة . محاصيل رئيسية أخرى مثل القطن والبرسيم تستخدم السماد النيتروجيني بكميات قليلة . المبيدات هي مصادر أخرى للتلوث . لرائد عن استخدام النبات من السماد والمبيدات يتسرب مع مياه الري حيث يصل إلى الخزان الجوفي عندما تسمح طاقة للتسرب للتربة .لذلك فإن تأثير الأسمدة والمبيدات التي تصل إلى المياه الجوفية تتوقف على عدة عوامل وهي (١) ظروف التعرض للمياه الجوفية (٢) وجود نظام صرف (٣) نوع المبيدات والأسمدة المستخدمة . مصادر التلوث الزراعي له خاصية الانتشار ونظراً للانتشار العالي للنترات فإنها تعتبر المصدر الرئيسي لتلوث

المياه الجوفية .

الصرف الصحي : ويكون التلوث من مياه الصرف الصحي إما نتيجة التسرب من الشبكة أو من خزانات التحليل أو من نتيجة الرفع الصحي للحماة أو الصرف العشوائي للحماة أو لمياه الصرف الصحي . ويتوقف التلوث من هذه المصادر على حجم مياه الصرف والتي يتحدد بها معدل التسرب . مياه الصرف الصحي قد تحتوى على كميات من النيتروجين فى شكل نشادر ونيتروجين عضوى . وقد يوجد كذلك للقوسفات طبقاً لظروف استخدام مصادره من المنظفات وخلقه الصرف الصناعى : تصل ملوثات الصرف الصناعى إلى الخزانات الجوفية طبقاً للدورة الهيدروولوجية وظروف الخزان الجوفى حيث المصدر هو المسطحات المائية التى تصرف إليها مياه الصرف الصناعى . ولذلك قد يكون التلوث حاد فى مكان ما ولكنه ليس على كل الخزان الجوفى كما فى حالة تأثير مياه الرى .

تنمية المياه الجوفية .

تنمية المياه الجوفية لمختلف الأغراض قد يحدث عدم اتزان كيمائى للمياه الجوفية . أثناء الضخ تحدث تغيرات مختلفة قد ينتج عنها دخول مياه ذات نوعية مختلفة . فى المناطق الساحلية لخزان جوفى الدلتا كمثال ، فإن الضخ يغير من حالة الاتزان للمياه العذبة - المالحة عند سطح التلامس بينهما بما ينتج عنه دخول المياه المالحة أو صعود المياه المالحة (upcoming) إلى سطح الأرض . لذلك فإن تنمية المياه الجوفية تكون فقط فى المساحات حيث السمك الكافى من المياه العذبة . مثال آخر عند الضخ قريباً من الحدود مع الحجر الجيرى عندئذ تنخل المياه من الكسور فى الحجر الجيرى إلى الخزان الجوفى، وهذا يؤثر على نوعية المياه إذا كانت هذه المياه الداخلة ذات نوعية متدنية وسمك الخزان الجوفى صغير نسبياً .

الخواص الكيميائية،

خصائص المواد الكيميائية تؤثر كثيراً على تحركها خلال التربة . حيث الوزن

النوعى المنخفض مثل الزيوت المعدنية والمواد الأروماتية (الوزن النوعى من ٠,٩ إلى ٠,٩٥) تظل فوق خط للمياه . أما المواد الثقيلة مثل المواد العضوية المكلورة (الوزن النوعى ١,٥) قد تصل إلى أعماق التربة بالتسرب الرأسى . يعتبر الادمصاص هو العامل المنظم لحركة الملوثات فى التربة . ويتحدد تأثيرها بإذابة الملوثات فى الماء ومحتوى التربة من المواد العضوية . مجموعة الكيماويات طبقاً لادمصاصها بالرمال والطينى كما فى الجدول.الحركة النسبية للكيماويات فى التربة جدول (٢-٣)

الكموايات		الحركة فى التربة
	رمل	طينى
الكلوريدات والنترات	***	**
الهيدروكربونات المكلورة	**	*
العناصر الثقيلة (زنك، نيكل ، ألومونيوم)	*	صفر
مبيدات الحشائش	*	—
عناصر ثقيلة (زئبق ، رصاص)	صفر	— —
مبيدات الحشرات	صفر	— —

المعادن الثقيلة مثل الرصاص والنحاس ومبيدات الحشرات المكلورة عادةً تحتجز بواسطة الطينى والتربة العلوية . الهيدروكربونات المكلورة مثل الإيثيلين تكون أكثر إذابة ويحدث لها لدمصاص منخفض فى التربة . بعض الكيماويات تتحلل فى منطقة عدم التشبع وقريباً من خط المياه . فى المياه الجوفية يعتبر التحلل بطيء جداً . تحلل المواد الغير كيماوية يكون بنسبة عالية لوجود ثانى أكسيد الكربون وارتفاع درجة الحرارة . تتحول النشادر جزئياً إلى نترات .

فى منطقة الدلتا العناصر الرئيسية للدراسة فى الاستكشاف للملوثات هى مركبات النيتروجين ، الكولفورم الكلى ، المبيدات والحديد والمنجنيز . وعموماً فإن تركيز النترات يتراوح ما بين ٧٠ إلى ١٠٠ ملليجرام / لتر ويتوقع أن يزداد مع

لوقت مع زيادة استخدام الأسمدة . ولكن التركيز للنترات يقل مع العمق . الحديد والمنجنيز الناتج من الطفل والطمى يوجد بتركيزات منخفضة في مساحات النيل عند أعماق كبيرة . الملوثات الأخرى من الكلوفورم الفانطى (أكثر من ١٠٠ في ١٠٠ سم^٣) يوجد على أعماق منخفضة . أملاح القومغات تحتجز بواسطة طبقات للتربة . أما المياه عالية الملوحة أكثر من ١٥٠٠ جزء في المليون توجد في شمال دلتا النيل بسبب تسرب مياه البحر ، كما يوجد في الأجانب للدلتا والوادي بسبب عودة التدفق من الري مع صفر سمك الخزانات الجوفية .

الفصل الرابع

كيمياء المياه الجوفية

كيمياء المياه الجوفية

كثير من العاملين في تصميم وتنفيذ الآبار ليس لديهم ما يكفي عن كيمياء المياه نظراً لاهتمامهم بالآبار وإنتاجيتها . وذلك رغم أن نوعية المياه قد تكون ذات أهمية عن حجم الإنتاج من المياه ، هذا بالإضافة إلى التغيرات الكيميائية التي تحدث في مياه التربة نتيجة قدرة المياه على إذابة الأملاح المعدنية وكذلك بطء تسرب المياه إلى المياه الجوفية . وهذان العاملان يزيدان من ملوحة المياه . ولهذا فإن المياه الجوفية قد تحتاج إلى معالجة لإزالة أو لاستبدال الأملاح المذابة قبل الاستخدام للمعين . بعض هذه الأملاح المذابة قد يكون مفيداً وبعضها يسبب مشاكل نحو المذاق والرائحة . المياه الجوفية عموماً خالية من المواد الصلبة العالقة كما أنها من الناحية العملية لا تحتوى على مواد عضوية أو بكتيريا وذلك مقارنة بالمياه السطحية التي تحتوى على مواد صلبة عالقة وكائنات جرثومية . ولهذا فإن المياه الجوفية تعتبر صحية وإن كانت نسبة الأملاح المذابة عالية .

لتقييم الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية تتم التحاليل العملية بالنسبة للعسر ، التوصيل الكهربى ، تركيز أيون الهيدروجين (PH value) ، ثانى أكسيد الكربون الحر ، الأملاح الكلية المذابة .

أصل المكونات الكيماوية للمياه الجوفية :

توزيع العناصر فى القشرة الأرضية كما فى الجدول (٤-١)

جدول (٤-١) توزيع العناصر فى القشرة الأرضية مقبلة كأكسيد :

المادة	متوسط تشبعية فى القشرة الأرضية بالوزن
السيليكا (SiO_2)	٦٣,٥
الألومينا (Al_2O_3)	١٥,٩
الكالسيوم (CaO)	٤,٩
صوديوم (Na_2O)	٣,٣
بوتاسيوم (K_2O)	٣,٣

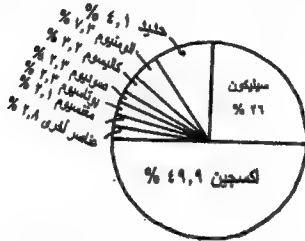
المادة	متوسط النسبة في القشرة الأرضية بالوزن
حديد (FeO)	٣,٣
حديد (Fe_2O_3)	٢,٩
ماغنسيوم (MgO)	٧,٩

حوالى ٩٥% من القشرة الأرضية بالحجم يتكون من السيليكات التى تتكون أساساً من أيون السيليكا الرباعى (SiO_4) والذي يرتبط بها كثيراً من الكاتأيونات مثل الكالسيوم والصوديوم و الماغنسيوم . معظم أيونات الكالسيوم و الماغنسيوم والبيكربونات فى المياه الجوفية تكون نتيجة إذابة للصخور الكربونية ذات الأصل من الصخور النارية .

السيليكون والأكسجين يكونا حوالى ٧٥% من القشرة الأرضية شكل (١-٤) . المواد الشائعة فى القشرة الأرضية هى أكاسيد السيليكون والألومنيوم والحديد وهذه قليلة الإذابة فى الماء . ولكن الكاتأيونات من الصوديوم والكالسيوم و الماغنسيوم والبوتاسيوم التى تتحد مع هذه الأكاسيد قابلة للذوبان فى الماء وهى موجودة فى معظم موارد المياه العذبة . للكاتأيونات والآن أيونات فى المياه الجوفية فى الحالة العادية كالآتى :

الكاتأيونات	الآن أيونات
كالسيوم (Ca^{++})	بيكربونات HCO_3^-
ماغنسيوم (Mg^{++})	كبريتات SO_4^{--}
صوديوم (Na^+)	كلوريدات Cl^-
بوتاسيوم (K^+)	

زيادة درجة حرارة الماء تزيد إذابة معظم الأملاح المعدنية . تزداد درجة حرارة المياه الجوفية بمعدل 0.6°C لكل ٣٠ متر من العمق وذلك بعد حوالى ١٠ متر تقريباً من سطح الأرض . لذلك فإن المياه الجوفية على أعماق كبيرة تكون ملوحتها كبيرة .



شكل (1-1) توزيع العناصر في القشرة الأرضية

وحدات القياس : Units Of Measure

وحدات للقياس الأمريكية للأملح للمذابة تقاس بالجزء في المليون بالوزن . أى جزء بالوزن من المادة في مليون جزء بالوزن من الماء . ويشار إلى تركيز الأملاح بالأملح الكلية للمذابة . (TDS - Total Dissolved Solids) . وقد تقاس الأملاح المذابة بالكيلو جرام في المتر المكعب أو بالمليجرام في اللتر . عند زيادة درجة الحرارة أو الملوحة لا يتساوى للقياس جزء في المليون مع مليجرام في اللتر بما يتطلب عمل التصحيح بالنسبة للكثافة ولكن عند ملوحة أقل من 10000 مليجرام / لتر ودرجة حرارة أقل من 100°م فإن مليجرام / لتر يتساوى مع جزء من المليون .

لتعيين المكافئ من الجزء في المليون لعينة مياه كمثال .

أ - لتحويل ٦٣ مليجرام / لتر من الماغنسيوم (Mg++) إلى جزء في المليون :

الوزن الذرى للماغنسيوم = 24.32

للكافؤ = ٢

$$\text{الوزن للمكافئ} = \frac{24.32}{2} = 12.16$$

∴ ٦٣ مليجرام / لتر من الماغنسيوم = $\frac{63}{12.16} = ٥.١٩$ جزء في المليون .

ب - لتحويل ٥ مليجرام / لتر من النترات 'No3' إلى جزء في المليون .

الوزن الذرى للنيتروجين (N) = 14

الوزن الذرى للأكسجين (O) = 16,00

الوزن الجزيئى للنترات (No_3^-) = 62

التكافؤ = 1

الوزن المكافئ = $\frac{62}{1} = 62$

٥ ملجرام / لتر No_3^- = $\frac{5}{62} = 0.08$ جزء فى المليون .

جـ - لمراجعة التحاليل الآتية . ضع المكافئ جزء فى المليون لأن الأيونات وللكاتأيونات ثم اجمع كل عمود لحساب المكافئ جزء فى المليون لعينة مياه .

الأيون	ملجرام / لتر	المكافئ ملجرام / لتر
Ca++	42	2,1
Mg++	27	2,22
Hco ₃ '	196	3,21
So ₄ "	15	0,31
Cl'	72	2,03
No ₃ '	5	0,08
الإجمالى	—	4,3
		5,63

بعض المكونات الهامة للماء ليس لها شحنة كهربية وهذه تشمل المواد العضوية والهلامية (التي لا ترسب) و السيليكا . كثير من المواد العضوية ينوب فى الماء ولكن التعرف عليها صعب . المياه المحتوية على تركيزات عالية من المواد العضوية تعطى طعم أو بقع بنى غامق أو لون أحمر طوبى . كثير من المعادن الثقيلة يوجد فى الماء فى شكل هلامى . الحديد والمنجنيز كمثال يوجد فى الشكل المتأين أو فى الشكل الهلامى طبقاً لمحتوى الماء من الأكسجين . السيليكا فى شكل سيليكات الصوديوم تكون مادة هلامية يمكن إزالتها بالترشيح أو بالترويب .

الأجهزة الرئيسية المختلفة أو للطرق المستخدمة لقياس الأيونات فى المحلول ،

المواد الصلبة (المواد الهلامية ، المواد العالقة) ، للمواد العضوية الكلية ، الكائنات الدقيقة موضح كالتالى :

- العناصر : الإمتصاص الأيونى والأسبكتروفوتومتر .
- الأيونات : قطب الأيون المعين .
- مواد عضوية ومعنوية : الطرق الكيميائية للتحاليل .
- التحاليل الغير عضوية : الإنبعاث الضوئى للإسبكتروجراف .
- التحاليل العضوية : تحاليل الكربون الكلى .
- فصل المواد العضوية : تكنولوجيا الكروماتوجرافى .
- التعرف على المواد العضوية : الإمتصاص بالإسبكتروجرافى .

بعض الخواص الهامة للمياه :

القسر ، Hardness

التعبير (عسر المياه) يعتبر واحد من أقدم الكلمات التى وصفت بها المياه . حيث كان مائداً يستخدم الصابون ، حيث لوحظ أنه طبقاً لمصدر المياه تختلف كمية الصابون لإنتاج الرغاوى . الماء الذى يحتاج لصابون أكثر سمي الماء العسر ولذلك فإن مياه الأمطار تحتاج إلى صابون أقل لإنتاج الرغاوى ولذلك سمي بالماء اليسر . ولذلك فإنه فى حالة المياه العسر لا يتم إنتاج الرغاوى حتى يستنفذ كل أملاح العسر الموجودة فى الماء باتحادها مع الصابون . تظل الأملاح التى استنفذت بالصابون كخبث غير مذاب . سبب العسر فى المياه أساساً هو أيونات الكالسيوم والمغنسيوم وذلك رغم أن أملاح الحديد والمنجنيز تستهلك الصابون . مصدر أيونات الكالسيوم والمغنسيوم هو مركبات الكربونات والبيكربونات للكالسيوم والمغنسيوم ، وكذلك الكبريتات . معظم أيونات الكربونات والبيكربونات فى المياه الجوفية توجد فى التربة نتيجة تحلل المواد العضوية من النباتات والكائنات الدقيقة وإذابة صخور الحجر الجيري والدولوميت .

ينقسم عسر المياه إلى نوعين وهى عسر الكربونات وعسر غير الكربونات .

يشمل عسر الكربونات أملاح الكالسيوم والمغنسيوم المرتبطة بالبيكربونات مع وجود كمية صغيرة من الكربونات . وعسر (البيكربونات كان يسمى بالعسر المؤقت حيث يمكن إزالته بالغليان ، حيث ترسب أملاح كربونات الكالسيوم والمغنسيوم والكبريتات المعدنية . ويقوم العسر عادةً بكربونات الكالسيوم .

عسر غير الكربونات هو الفرق بين العسر الكلي وعسر الكربونات . وهذا العسر بسبب كميات الكالسيوم والمغنسيوم التي تتحد عادةً مع أيونات الكبريتات والكلوريد والنترات . بالإضافة إلى العسر لوجود كميات ضئيلة من الحديد . عسر الغير كربونات لا يزال بالغليان ولذلك يسمى العسر المستقيم .

المياه ذات عسر أقل من ٥٠ ملجرام / لتر تعتبر مياه بئر . العسر من ٥٠ إلى ١٥٠ ملجرام / لتر غير مرفوض في معظم الحالات ، يزداد استهلاك الصابون مع زيادة أملاح العسر . المياه ذات عسر من ٥٠ إلى ١٥٠ ملجرام / لتر تحدث ترسيبات في غلايات البخار . عند إزالة عسر المياه ذات تركيز عسر ١٥٠-٢٠٠ ملجرام / لتر يتم معالجتها لتخفيض العسر إلى ٨٥ ملجرام / لتر لتكون مناسبة للشرب والاستخدام المنزلي.

عند تعرض المياه العسر إلى تغيرات في الضغط ودرجة الحرارة تحدث ترسيبات من أملاح الكالسيوم والمغنسيوم . ويرجع ذلك إلى التغير في انتران الإذابة والتي ينتج عنها الكربونات الغير مذابة وفي بعض الحالات للكبريتات . ظاهرة الرواسب في أثناء الشاي هي ظاهرة عادية لكل شخص . ولكن الترسيبات في حالة المبخرات الضخمة مثل أبراج التبريد وفي ظروف معينة في مياه الآبار يمكن أن تسبب تلف كامل . وفيما يلي شرح مبسط للترسيبات بسبب التغير في الضغط ودرجة الحرارة .

ثنائي أكسيد الكربون الذي يربطه ضعيف مع أيون البيكربونات يمكن انفصاله بسهولة كغاز بالتسخين للماء . في هذه العملية يتحول جزء من البيكربونات إلى الكربونات الذي يتحد مع أيونات الكالسيوم والمغنسيوم مكوناً أملاح كربونات الكالسيوم والمغنسيوم التي ترسب مكونة قشور (Scales) لعدم ذوبانها في الماء إلا في حدود

حيث تتكون ترسيبات كربونات الكالسيوم أولاً نظراً لقلّة ذوبانها عن كربونات المغنسيوم . في حالة عدم وجود ثاني أكسيد الكربون يذوب في الماء فقط ١٤ ملجرام / لتر من كربونات الكالسيوم وفي نفس الظروف تكون إذابة كربونات المغنسيوم أكثر من خمسة أضعاف كربونات الكالسيوم حيث تصل إلى ٧٠ ملجرام / لتر . أى أنه عند غلى الماء يكون إجمالي عسر الماء هو $١٤ + ٧٠ = ٨٤$ ملجرام / لتر وهو الحد المقبول لاستخدام المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلى (٨٥ ملجرام / لتر) . انخفاض الضغط في التربة الحاملة للمياه من الحجر الجيري أو لدولوميت يسبب انفصال غاز ثاني أكسيد الكربون من أملاح البيكربونات ويحولها إلى أملاح الكربونات التى ترسب فى مسام التربة حول المصفاة ولمسافة من المصفاة من ٢ متر حتى ٢ متر . يرجع انفصال غاز ثاني أكسيد الكربون إلى انخفاض الضغط كلما اقتربت المياه فى الخزان الجوفى من المصفاة حيث تزداد سرعتها وبالتالي ينخفض الضغط طبقاً لمعادلة برنولى والذى يؤدي إلى انفصال ثاني أكسيد الكربون .

التوصيل الكهربى للنوعى :

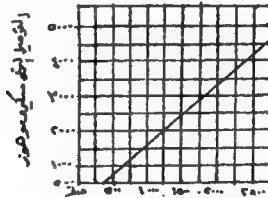
التوصيل الكهربى للنوعى لمادة هو قدرتها على توصيل التيار الكهربى . يسير التيار فى الماء للمحتوى على أيونات أو أملاح معدنية وذلك لأن الأيونات وتتحرك نحو مصدر التيار ليحدث لها تعادل . فمثلاً عند إذابة كلوريد الصوديوم فى الماء فإن أيونات الصوديوم (Na^+) يكون موجب للشحنة وأيون الكلور (Cl^-) يكون سالب للشحنة . فى حالة بث تيار كهربى فى المحلول من خلال القطبين فإن أيونات الصوديوم تتحرك نحو القطب السالب وأيونات الكلور تتحرك نحو القطب الموجب . ولذلك فإن الآن أيونات (سالبة الشحنة) تتحرك نحو القطب الموجب (الأقطاب) بينما الكاتيونات (موجبة الشحنة) تنجذب نحو القطب السالب (الكاثود) .

للتوصيل الكهربى النوعى يعرف بالتوصيل لستيمتر من أى مادة مقارنة بالتوصيل لنفس الحجم من الماء (كيميائياً الماء النقي له توصيل كهربى ضعيف ويعتبر عازل جيد) . تزداد قوة التوصيل الكهربى للماء عند وجود كمية صغيرة جداً

من الأملاح.

وحدات قياس التوصيل الكهربى هى عكس الأوم (Mohs) . فى المحاليل يتغير التوصيل النوعى تبعاً لتغير تركيز الأملاح فى الماء . وكذلك فإن التوصيل النوعى لنفس التركيز لمحاليل مختلفة كذلك يختلف . فمثلاً محلول به ١٠٠ ملجرام / لتر من كلوريد الصوديوم يعطى توصيل نوعى أكثر من محلول به ١٠٠ ملجرام / لتر من بيكربونات الكالسيوم .

الشكل (٢-٤) يوضح العلاقة القوية بين الأملاح الكلية المذابة والتوصيل النوعى . ولهذا يمكن تعيين التركيز كنتيجة لقياس التوصيل الكهربى . فى معظم المياه الجوفية عند ضرب التوصيل الكهربى للنوعى فى المعامل ٠,٥٥ إلى ٠,٦٥ يمكن تقدير المواد المذابة. فى الجدول (٢-٤) قيم التوصيل النوعى مضروبة فى ٠,٥٥ إلى ٠,٦٥ تعطى تركيز الأملاح الكلية المذابة . معامل الضرب فى المياه المالحة يكون عادةً أعلا من ٠,٧٥ . وبالنسبة للمياه الحامضية يكون أقل كثيراً . تعيين الأملاح المذابة بقياس التوصيل الكهربى يعتبر مناسب جداً حيث يمكن قياس التوصيل الكهربى ببساطة شديدة فى الموقع . الشكل (٢-٤) يوضح ثبات النسبة بين تركيز المواد المذابة والتوصيل النوعى .

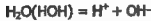


شكل (٢-٤) مقارنة التركيز للمواد الصلبة المذابة مع التوصيل النوعى يوضح النسبة الثابتة بينهما

تركيز أيون الهيدروجين (pH) .

رغم أن جزيئات الماء مستقرة كيميائياً إلى حد ما ، إلا أنها تميل إلى الانقسام أو

للتحلل إلى الأجزاء المكونة لها وهى أيونات الهيدروجين (H^+) وأيونات الإيدروكسيد (OH^-).



يكون الماء إما حامضى أو قلوى (قاعدى) طبقاً للتركيز النسبى لأيونات الهيدروجين ، التى تسبب الحموضة للماء فى حالة وجودها به . قدرة الماء على خفض أيونات الهيدروجين أى معادلة الحامض تسمى للقلوية . لفهم كيمياء الماء يلزم معرفة الخصائص الحامضية - للقلوية للماء . يعبر عن تركيز أيون الهيدروجين فى الماء بالمصطلح (PH) أو الرقم الهيدروجينى . الرقم الهيدروجينى (PH value) هى اللوغاريتم لمعكوس تركيز أيون الهيدروجين .

$$pH = \log \frac{1}{H^+}$$

وتستخدم هذه المعادلة بالتحديد لأن العدد الحقيقى للأيونات صغير جداً . مجال الرقم الهيدروجينى هو من صفر إلى ١٤ ، الرقم الهيدروجينى ٧ عند درجة حرارة ٢٥°م يبين حالة تعادل للمحلول حيث تركيز كلاً من أيونات H^+ وأيونات OH^- متساويان بينما الرقم الهيدروجينى أكبر من ٧ يبين أن المحلول قلوى . تؤثر درجة الحرارة فى تحديد الرقم الهيدروجينى الذى يحدث عنده التعادل . فمثلاً عند درجة حرارة صفر درجة مئوية يكون تركيز الأيونات السالبة والموجبة متساوى عند رقم هيدروجينى ٧.٥٣ درجة مئوية بينما عند درجة حرارة ٥٠°م يحدث لتعادل عند رقم ٦.٦٥ . الرقم الهيدروجينى لبعض السوائل كما فى الجدول (٢-٤)

جدول (٢-٤) الرقم الهيدروجينى لبعض السوائل :

السائل	الرقم الهيدروجينى
عصير الليمون	٢,٢-٢,٤
الخل	٣
عصير طماطم	٣,٥
البيرة	٤-٥

الرقم الهيدروجيني	السمائل
٦,٤-٤,٨	الجبين
٦,٦-٦,٣	اللبين
٧,٥-٦,٥	اللعاب
٧,٥-٧,٣	الدم البشرى
٨,٤-٤,٨	السيول
٨,٣	مياه البحر
٨-٦,٥	مياه الشرب

يوجد بعض اللبس نحو التعبير " القلوية " وذلك لأن وجود القلوية لا يعنى أن الرقم الهيدروجيني للماء يجب أن يكون أكبر من قيمة لتعادل ٧ . المياه الجوفية ذات الرقم الهيدروجيني أقل من ٧ قد تظل تحتوى على أملاح لتي تتعادل مع الأحماض وبذلك قد يكون لها بعض القلوية التي يمكن قياسها . ترجع القلوية لوجود أيونات الكربونات والبيكربونات بينما أيونات الكلوريد والنترات والكبريتات ليس لها تأثير على القلوية . أيون الإيدروكسيد (OH^-) له تأثير على القلوية ولكن يندر وجوده فى المياه الجوفية بكمية يعتد بها ، وقد يوجد أيون الإيدروكسيد فى المياه المعالجة وفى المياه الملتصقة بالخرسانة.

قياس الرقم الهيدروجيني عادةً بواسطة جهاز مزود بالقطب المناسب ويسمى جهاز قياس الرقم الهيدروجيني (PH Meter) وله درجة دقة من ٠,٠١ إلى ٠,٠٥ وتوجد طرق أخرى كثيرة لقياس الرقم الهيدروجيني منها ورق عباد الشمس ومواد كيميائية (Indicators) لإظهار حالة المحلول .

تغير محتوى المياه الجوفية من الأيونات خلال الوقت .

لوحظ تغير كيميائى للمياه الجوفية خلال العمق فى الخزانات الرسوبية العميقة كالآتى :

المنطقة العليا : تكون المياه ذات أملاح مذابة بنسبة منخفضة ونسبة عالية من

البكريونات (HCO_3^-) مع الحركة النشطة للمياه تزال الأملاح من الصخور بالمحلول (Leaching) .

. المنطقة الوسطى : تتحرك المياه ببطء أكثر وتكتسب مواد صلبة مذابة ، ويزداد محتوى المياه من أيون الكبريتات .

. المنطقة العميقة : حركة محدودة للمياه في هذه المنطقة مما يجعل إذابة الأملاح المعدنية نشطة جداً حيث تزداد الأملاح المذابة وزيادة أيون الكلور (Cl^-) .

رغم أن هذا التحليل للمناطق يعتبر مبسطاً إلا أنه يبين للتغيرات الكيماوية العامة التي تحدث أثناء تسرب المياه خلال التربة وخاصة في حالة التربة الرسوبية .

مكونات المياه الجوفية .

تركيز الأملاح الكلية المذابة في المياه الجوفية هو مؤشر لتحديد مدى ملاءمتها للاستخدام . الاستخدام العام للمياه الجوفية هي إما للاستخدام المنزلي والشرب أو في الزراعة أو في الصناعة وتوليد الطاقة . المياه المحتوية على أكثر من ٥٠٠ ملجم / لتر من الأملاح الكلية المذابة عادة يحتوي على أملاح معدنية تعطيه مذاق واضح أو تجعله غير مناسب . الجدول التالي يوضح التقسيم النوعي للمياه الجوفية طبقاً للأملاح الكلية المذابة .

جدول (٤-٣) التقسيم النوعي للمياه الجوفية طبقاً للأملاح الكلية المذابة

نوعية المياه	الأملاح الكلية المذابة ملجم / لتر
مياه عذبة	صفر — ١٠٠٠
مياه ملوحة (Brackish)	١٠٠٠ — ١٠٠٠٠
مياه مالحة (Saline)	١٠٠٠٠ — ١٠٠٠٠٠
مياه عالية الملوحة (Brine)	أكثر من ١٠٠٠٠٠

الأملاح المعدنية الهامة الموجودة في الماء كما في الجدول (٤-٤) . تركيز معظم هذه الأملاح صغير وتحد من استخدامات المياه . ولكن كميات صغيرة من الحديد فسي المياه الجوفية قد يسبب مشاكل . وسيتم مناقشة بعض المواد الموجودة في المياه الجوفية بتركيزات عالية بما يسبب مشاكل في الآبار المنتجة :

جدول (٤-٤) تقسيم مكونات الأملاح المذابة في المياه الجوفية

المكونات الرئيسية بتركيز أكبر من ٥ ملجرام / لتر .
البيركربونات ، الكالسيوم ، الكلوريد ، المغنسيوم ، السليكون ، الصوديوم ،
الكبريتات .
مكونات ثانوية بتركيز ٠.٠١ إلى ١٠ ملجرام / لتر .
البورون ، الكربونات ، النترات ، الفلوريد ، الحديد ، الليتاسيوم ، الإسترنشيوم
مكونات بآثار قليلة جداً (أقل من ٠.٠١ ملجرام / لتر) .
الألمنيوم ، القصدير ، الزرنيخ ، الباريوم ، البروم ، الكاديوم ، الكروم ،
الكوبالت
لنحاس ، اليود ، الرصاص ، المنجنيز ، النيكل ، الفوسفور ، عناصر مشعة ،
ذهب ، فضة ، البلاتين .

الحديد (الحديدوز والحديدك Fe^{++} , Fe^{+++})

معظم موارد المياه تحتوى على الحديد وذلك لأن للحديد يوجد في الصخور النارية عادة وبكميات قليلة في الصخور الرسوبية والرواسب . كميات صغيرة من الحديد في الماء تؤثر على استخداماته في الأغراض المنزلية والصناعية . الحديد في مياه الشرب طبقاً للمعايير المقدره ٠,٣ ملجرام / لتر . بعض الصناعات لا تقبل استخدام المياه بمحتوى من الحديد أكبر من ٠,١ ملجرام / لتر . عند استخدام المياه المحتوية على الحديد في عمليات الغسيل فإنه يسبب لطع ويقع حمراء والحديد يسبب الانسداد للمواسير للمياه وفتحات المصافي . ولكن ليس كل الحديد في المياه مصدره المياه الجوفية فقد يكون نتيجة تآكل معدن الحديد في المواسير وخاصة في حالة المياه العدوانية (حيث الرقم الهيدروجيني المنخفض والمحتوى العالي للأكسجين) . المياه فى البئر المتوقف عن الضخ تحتوى على حديد أعلى من الموجود فى مياه الخزان الجوفى . لذلك فعند أخذ عينات المياه يتم تشغيل طلمبة الضخ لفترة زمنية طويلة حتى إزالة كل المياه فى البئر ، وعند تمام نظافة المياه يتم أخذ العينة قريباً من تصرف الطلمبة وقيل أن يلتصق الماء بالهواء الجوى .

شكل الحديد في الماء يتوقف على كمية الأكسجين المذاب في الماء والرقم الهيدروجيني للماء . في المياه الجوفية الطبيعية حيث تركيز الأكسجين منخفض أو يكاد يكون معدوم والرقم الهيدروجيني ما بين ٦,٥ إلى ٧,٥ فإن الحديد يكون موجود أساساً في شكل الحديدوز المذاب (Fe^{++}) . في معظم الحالات حيث توجد مشكلة الحديد فإن تركيزه يتراوح ما بين ٢ إلى ١٠ ملجرام / لتر ، وقد يصل تركيز أيون الحديدوز إلى ٥٠ ملجرام / لتر في حالة الرقم الهيدروجيني للماء ٧ مع عدم وجود أكسجين (ظروف اختزال) . أيونات الحديدوز ليست مستقرة في حالة الالتصاق بالأكسجين . في وجود الهواء الجوي تتحول إلى أيونات الحديدك (Fe^{+++}) وترسب كإيدروكسيد حديدك أو أكسيد حديدك . أيون الحديدك لا يذوب في المياه القلوية أو ضعيفة الحموضة . عند تهوية المياه ذات رقم هيدروجيني من ٧ إلى ٨,٥ فإن معظم الحديد يصبح غير مذاب .

معظم مشاكل المياه الناتجة عن المحتوى العالي من الحديد مرتبطة بالتغير المفاجئ من الحديدوز (المذاب) إلى الحديدك (شبه صلب) . يرسب كلاً من أكسيد الحديدك وإيدروكسيد الحديدك ويغطي الأسطح المحيطة ، وتكون هذه التغطية أحياناً نتيجة وجود الصدأ على الأسطح المعدنية المعرضة للهواء الجوي .

المياه الجوفية المحتوية على بعض ملجرامات من الحديد في اللتر قد يكون رائق تماماً وليس له لون عند بدء الافتح . وعند التعرض بعض الوقت للهواء الجوي لوجوده في إناء مفتوح فإن للحديد المذاب يتأثر، عندئذ يبدأ الماء في العتامة ببطء ثم أخيراً ترسب مادة تشبه الصدأ حيث تظهر في قاع الإناء .

توجد ترسيبات أخرى في إنشاءات البئر فمثلاً عندما يتحد أيون الحديدوز مع أيون الكربونات مكوناً بيكربونات الحديدوز وهذه تسبب الانسداد لمصافي الآبار عند تحولها إلى أملاح الحديدك ورسوبها في مسام التربة أو فتحات المصافي .

المياه المحتوية على الحديد تتشط نحو بكتريا الحديد بما قد يسبب لتمداد الآبار حيث قد يكون نمو وتكاثر البكتريا سريعاً بما يسبب توقف البئر خلال شهور من بدء تنميته . بكتريا الحديد تتشط في المياه للغير محتوية على الأكسجين مع وجود قليل من

ثنائي أكسيد الكربون والحديد المذاب حيث تنشط البكتريا المؤكسدة للحديد ويتحول الحديد إلى راسب جيلاتيني . وقد يرجع وجود البكتريا في الآبار لعدم تطهير معدات الحفر بالكlor وكذلك تطهير البئر بعد للتنمية ثم غلقه وعزله عن الهواء الجوى .

المنجنيز، (Mn^{++})

المنجنيز يشبه الحديد في تفاعلاته الكيماوية ووجوده في المياه الجوفية ولكن بنسبة أقل من الحديد . ولهذا فإن وجوده غير عادى في المياه وبنسبة قليلة جداً عن الحديد ، ولكن فى المياه الجوفية العميقة قد يصل تركيز المنجنيز إلى ٢ إلى ٣ ملجرام/ لتر . يرجع وجود المنجنيز لصرف مياه الصناعات المعدنية أو مياه استخراج المعادن . المنجنيز غير مرغوب فيه في المياه كما هو الحال بالنسبة للحديد . يوجد المنجنيز في شكل الليكربونات الغير مذاب والذي يتحول إلى إيدروكسيد المنجنيز عند تفاعله مع الهواء الجوى . البقع التي يسببها للمنجنيز أكثر صعوبة في إزالتها عن تلك التي بسبب الحديد . ولهذا فإن معايير مياه الشرب تحدد نسبة المنجنيز في الماء لتجنب طعم المنجنيز وهذه النسبة هي ٠,٠٥ ملجرام / لتر . يوجد المنجنيز في الشكل المذاب كليكربونات والتي تتحول إلى الغير مذاب في شكل الإيدروكسيد وهو راسب أسود عند خروج ثاني أكسيد الكربون من الليكربونات قرب مصفاة البئر بما يعمل على انسدادها . البكتريا المؤكسدة للمنجنيز مثل البكتريا المؤكسدة للحديد تسبب أكسدة المنجنيز إلى الغير مذاب .

كلاً من الحديد والمنجنيز يمكن استمراره في للسائل بإضافة كمية صغيرة من ملح صوديوم هكذا ميتافوسفيت إلى الماء حيث يعمل على إعاقلة ترسيب أملاح الحديد والمنجنيز المذاب قبل تعرضه للهواء الجوى .

السيليكا (SiO_2)

السيليكون هي ثاني عنصر الأكثر انتشاراً في القشرة الأرضية بعد الأكسجين . السيليكون مع الأكسجين يكون الأكسيد الذي يسمى السيليكا (SiO_2) . رمل الكوارتز في كثير من أشكاله هو أكسيد السيليكون. كما يتحد السيليكون والأكسجين مع معظم

العناصر بسرعة (مثل عناصر البوتاسيوم ، المغنسيوم ، الصوديوم ، الحديد ، الكالسيوم ، الألومنيوم) مكونة أملاح معدنية كثيرة المكونة للصخور . السيليكات لا تنوب بسرعة في الماء . ولكن المياه الدافئة تحتوى أحياناً حوالي ١٠٠ ملجرام / لتر سيليكات وتركيز ٢٠ ملجرام / لتر من السيليكات يعتبر عادى . تتأثر درجة إذابة السيليكات في الماء بدرجة الحرارة ومعدل حركة المياه الجوفية خلال الصخور ووجود أحماض طبيعية مثل حامض الكربونيك . المركب الرئيسى للسليكون المذاب في المياه الجوفية عند رقم هيدروجينى من ٦-٩ هو $Si(OH)_4$.

السيليكات لا تسبب عسر المياه ، وتعتبر مكون رئيسى للمواد المترسبة من كثير من المياه الجوفية . عند ترسيب السيليكات (Scales) فإن الترسبات عادةً هي سيليكات الكالسيوم أو المغنسيوم . ترسيبات السيليكات لا يمكن إذابتها بالأحماض أو أى كيمائيات أخرى المستخدمة في المعالجة الكيميائية للأبار . لذلك المياه الغنية بالسيليكات المستخدمة في الغلايات يجب معالجتها مسبقاً بالانمصاص أو بالتبادل الأيونى .

الصوديوم ، (Na^+)

الصوديوم ينتمى إلى المعادن المسماة بالمعادن القلوية (Alkali Metals) والتي تشمل العنصر الهام البوتاسيوم . المعادن القلوية لها سمات كيميائية واحدة . الصوديوم هو الوحيد الموجود بكميات كبيرة في المياه . تقريباً كل أملاح الصوديوم عالية الإذابة في الماء ، حيث عند إذالتها بالإذابة (Leached) من الصخور والرواسب فإنه يظل في المحلول . الصوديوم الناتج من تفتت الصخور يحمل إلى البحر ليكون أكثر الأيونات وجوداً في مياه البحر بمتوسط حوالى ١٠٠٠٠ ملجرام / لتر . على الجانب الآخر فإن المياه الجوفية في التربة من الحجر الجيرى قد تحتوى على نسبة قليلة من أيونات الصوديوم . التركيز العادى لأيونات الصوديوم في المياه الجوفية هي من ١٠ إلى ١٠٠ ملجرام / لتر . للصوديوم لا يسبب العسر ولا يكون ترسيبات . المياه الجوفية المحتوية على كربونات الصوديوم أو بيكربونات الصوديوم بكميات كبيرة تكون قلوية . وقد تكون ذات رقم هيدروجينى ٩ أو أكثر .

الجدول (٤-٥) معظم أنواع الكيماويات الموجودة في مياه البحر

ملجرام / لتر	مكونات مياه البحر
١٩٠٠٠	الكلوريد (Cl^-)
١٠,٥٠٠	الصوديوم (Na^+)
٢٦٥٠	الكبريتات (SO_4^{--})
١٣٠٠	المغنسيوم (Mg^{++})
٤٠٠	الكالسيوم (Ca^{++})
٣٨٠	البوتاسيوم (K^+)
١٨	الكربونات (CO_3^{--})
٦٥	البروميد (Br^-)
٦	الإسترونشيوم (Sr^{++})
٤,٥	البورون (B)
١,٣	الفلوريد (F)
٠,٠٠١	الألمونيوم (Al^{+++})

الكلوريد (Cl)

أيون الكلوريد يكون بمتوسط تركيز ١٩٠٠٠ ملجرام / لتر في مياه البحر ولكن في المياه الجوفية يتراوح ما بين ١٢-١٣ ملجرام / لتر . الأبار القريبة من المناطق الساحلية عند ضخها باستمرار فإن بعض مياه البحر تتسرب إلى المياه الجوفية العذبة. للمياه المحتوية على أيون الكلوريد بنسبة أقل من ١٥٠ ملجرام / لتر تكون مناسبة لمعظم الاستخدامات . المياه المحتوية على أيون الكلوريد أكثر من ٢٥٠ ملجرام / لتر غير مقبول للاستخدام المنزلي والماء المحتوى على أكثر من ٣٥٠ ملجرام / لتر غير مناسب لمعظم استخدامات الري والصناعة . الحيوانات كالماشية يمكنها شرب مياه بتركيز الكلوريد حتى ٣٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ ملجرام / لتر .

الفلوريد (F)

الفلوريد يوجد في خام الفلوريت (Flourite) وهو الخام الرئيسى للفلوريد في الصخور النارية . ويوجد في خام الأباتيت والسيكا ، كما أنه يوجد عموماً بتركيزات

منخفضة في المياه الجوفية . من المهم معرفة كمية الفلوريد في المياه التي يستخدمها الأطفال . زيادة الفلوريد يسبب تسوس مينا الأسنان ، بالإضافة إلى أن الأسنان يمكن أن تصبح هشّة نظراً لأن الفلوريد يؤثر على كثافة الأسنان . هذه للتأثيرات تكون واضحة أكثر بالنسبة للأطفال الذين يشربون كميات كبيرة من المياه المحتوية على فلوريد حيث تكون أسنانهم الجديدة (Perment Teeth) ما زالت تنمو .

رغم أن زيادة كمية الفلوريد ضارة إلا أن كميات صغيرة منه مفيدة لمنع تسوس الأسنان . حيث تتراوح كمياته في المياه ما بين ٠,٨ إلى ١,٤ ملجرام / لتر . وقد أثبتت الأبحاث أن الاستمرار في أخذ كميات صغيرة من الفلور للمراة الحامل يوفر حماية لأسنان الأطفال بعد ولادتهم . معايير نوعية المياه لوكالة البيئة الأمريكية وضعت الحدود المسموح بها لتركيز الفلوريد ليكون ١,٤ في المناطق حيث تتراوح درجة الحرارة ما بين ١٠-١٢م على مدار العام نظراً لأن استهلاك المياه أكبر في المناطق الحارة بينما يكون التركيز ٠,٨ ملجرام / لتر في المناطق حيث أقصى درجة حرارة يومية ما بين ٢٦,٣-٣٢,٥م .

النترات (NO_3^-) .

النترات ليست مثل الأملاح المعدنية الأخرى في المياه الجوفية والتي مصدرها الصخور المكونة للخران الجوفى . ولكن النترات تدخل المياه الجوفية من جزء آخر من دورة النيتروجين فى دورة غلاف القشرة الأرضية المائى والمحيط الحيوى (Hydrosphere And Biosphere) . توجد مركبات نيتروجين متعددة في المياه الجوفية : النترات (NO_3^-) ، للنيتريت (NO_2^-) والنشادر (NH_3) . عند تحليل المياه يتم تقييم هذه المواد إما كأيون مركب أو كمكافئ لجزئ النيتروجين (N) . ولحد ملجرام / لتر يساوى ٤,٥ ملجرام / لتر نترات .

يدخل النيتروجين الأرض من مصادر مختلفة . بعض النباتات مثل الخضروات والبقول تثبت النيتروجين الجوى وتنقله إلى التربة حيث يستخدم بواسطة النبات . بعض النيتروجين الزائد يزال مع المياه المتسربة إلى جوف التربة . مصادر النيتروجين الأخرى هو تحلل بقايا النباتات والمخلفات الحيوانية ومعاد النترات

بالإضافة إلى الصرف العشوائي لمياه الصرف الصحي على الأرض أو من خلال برك الأكسدة لمياه الصرف الصحي . كذلك فإن كثيراً من مخلفات الكيماويات الصناعية تحتوي على النيتروجين بتركيزات عالية . يتراوح تركيز النترات الطبيعية في المياه الجوفية ما بين ٠,١ إلى ١٠ ملجرام / لتر . وقد يصل التركيز إلى ٦٠٠ ملجرام / لتر أو أكثر عند زيادة استخدام الأسمدة النيتروجينية . ويعتبر التركيز العالي للنترات مؤشراً وكذلك تحذيراً أن الخزان الجوفي يجب أن يختبر بالنسبة للبكتيريا الممرضة (Pathogens) والتي قد تصاحب للتلوث من هذه المصادر . يعتبر التلوث بالنترات عملياً مشكلة حيث للتركيز أكثر من ٤٥ ملجرام / لتر غير مستحب في المياه المستخدمة للشرب والاستخدام المنزلي بسبب الأثر السام على الأطفال خاصة بسبب فقر الدم الناتج عن تحول النترات إلى النيتريت . وكذلك للماشية تتأثر حيث تمرض بفقر الألبان والإجهاض .

حدود النترات الآمنة للاستخدام المنزلي هو ٤٥ ملجرام / لتر وهذا يعادل ١٠ ملجرام / لتر نيتروجين (N) . النترات لا تزال من المياه عند غليها ولكن تزال بطرق إزالة الأملاح أو التقطير . نظراً لأن النترات في المياه الجوفية مصدرها عادةً من مياه الصرف الصحي ، لذلك فإن وجودها يعتبر دليلاً على التلوث . كذلك فإن التلوث بمياه الصرف الصحي يضيف الكلوريد إلى المياه الجوفية . للكلوريد يتسرب بسرعة في التربة ويعتبر كذلك مؤشر للتلوث . لذلك فإن زيادة النترات مع زيادة الكلوريد هو مؤشر إيجابي لتسرب مياه الصرف الصحي .

الكبريتات (so₄)

توجد الكبريتات في المياه الجوفية من الجبس المائي ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) والجبس اللامائي (CaSO_4) أو من أكسدة البيريت (Pyrite) وهو كبريتيد الحديد . المياه الجوفية في الصخور النارية والتحولية تحتوي عموماً على أقل من ١٠٠ ملجرام / لتر من الكبريتات . بالإضافة إلى أن المياه الجوفية قد تحتوي على كبريتات المغنسيوم ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) والذي يسمى ملح إيسم (Epsom salt) وكبريتات الصوديوم ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) والذي يسمى ملح جلوبر (Glaubers salt) وهذه تسبب المذاق المر للماء

فى حالة وجودها بكميات كافية . بالنسبة للأشخاص الذين لم يتعودوا على شرب المياه المحتوية على نسبة عالية من الكبريتات فإن هذه الأملاح قد تسبب لهم الإسهال .

الغازات المذابة .

عادة لا يتم تعيين الغازات المذابة فى التحاليل الروتينية للمياه . وجود الغازات بكميات كبيرة يؤثر على استخدامات المياه لأغراض معينة . معظم الغازات المذابة العادية تشمل الأكسجين ، كبريتيد الهيدروجين ، ثانى أكسيد الكربون ، النيتروجين ، ثانى أكسيد الكبريت ، للشار . من هذه الغازات فإن الأكسجين وكبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون لهم أكبر تأثير على المياه الجوفية . إذابة الغازات تزداد مع زيادة درجة الحرارة وتزداد مع زيادة الضغط . الغازات المذابة لها دور فى تآكل قيسونات الآبار وكذلك المصافى بالإضافة إلى الترسيبات التى تحدث بسبب للتغير فى الضغط قرب الآبار . قد تكون الغازات المذابة بتركيزات تتراوح ما بين ١-١٠٠ ملجرام / لتر .

الأكسجين المذاب .

إذابة الهواء الجوى فى الماء عند درجة حرارة صفر درجة مئوية وعند الضغط الجوى حوالى ٢٩ ملجرام / لتر ، ويمثل ١٠% من هذا الأكسجين المذاب . إذابة الأكسجين فى الماء تنخفض مع ارتفاع درجة الحرارة وتصل إلى الصفر عند درجة الغليان . وعلى الجانب الآخر فإن الأكسجين يمكن أن يعلق بالماء مع زيادة الضغط . ولهذا فإن الماء فى خزان الضغط يمكن أن يحتوى على أكثر من ١٠ ملجرام / لتر لكسجين .

الأكسجين المذاب فى المياه الجوفية على أصماق أكبر من ٣٠-٤٥ متر يعتبر منخفض . حيث يستهلك معظم الكسجين فى أكسدة المواد العضوية وذلك عند تسرب المياه خلال منطقة التهوية . المياه المحتوية على الأكسجين للمذاب يسبب للتآكل للمعادن عندما يكون الرقم الهيدروجينى منخفض . ولكن المياه المحتوية على بعض الكسجين المذاب وقوة توصيل كهربى عالى نسبياً (بسبب وجود الأملاح المذابة) تكون عدوانية حتى وإن كان الرقم الهيدروجينى ٨ أو أكثر . للمعادن ذات الحساسية

للتآكل تشمل الحديد، الصلب، الحديد المجلفن، النحاس الأصفر. معدل التآكل يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة ولكن كمية الأكسجين المذاب تنخفض مع ارتفاع درجة الحرارة. ولذلك فإن معدل التآكل قد لا يتغير بوضوح إلا في حالة المياه الجارية تخزينها تكون تحت ضغط.

الأكسجين المذاب قد يحدث تآكل الحديد المجلفن وبعض أنواع للنحاس الأصفر (Brass). زنك الجلفنة يتأكسد ويزال بالمياه في حالة وجود الأكسجين المذاب وخاصة إذا كانت مادة الزنك بها شوائب. وكذلك يزيل الأكسجين المذاب للزنك من سبيكة للنحاس الأصفر تاركاً للسبيكة متعبة وضعيفة. تتراكم الرواسب من أكسيد الحديد على السطح الداخلى للمواسير الحديدية عندما يكون الحديد مذاب بسبب الخفض في الرقم الهيدروجيني مع وجود أكسجين مذاب مكوناً الأكسيد الغير مذاب، حيث ترسب طبقة من الأكسيد على السطح المتآكل. للرواسب (Scales) حجمها أكبر من حجم المعدن الأصلي وبالتدرج تمثل الماسورة بالرواسب بما يقلل من طاقة الماسورة. فقد ثبت من أحد الدراسات أن مواسير المياه الحديدية (التي ليس بها حماية داخلية) تفقد قدرة التحميل بمعدل ١ - ٢% خلال فترة زمنية من ٢٠ - ٣٠ سنة.

كبريتيد الهيدروجين : (H_2S)

المياه الجوفية المحتوية على غاز كبريتيد الهيدروجين المذاب يمكن التعرف عليها بسهولة بسبب رائحتها التي تشبه رائحة البيض الفاسد، حيث يمكن ملاحظة تركيزات من كبريتيد الهيدروجين حتى ٠,٥ ملجرام / لتر في المياه الباردة والرائحة لا تطاق عندما يصل التركيز إلى ١ ملجرام / لتر. المياه المحتوية على كميات صغيرة من كبريتيد الهيدروجين والذي يمتص بسهولة في الماء. في ماسورة المياه فإن المياه تكون مع المعدن كبريتيد الحديد والذي يرسب كمادة غير مذابة في الماسورة

ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

ينوب ثاني أكسيد الكربون في مياه الأمطار عند سقوطها من الجو ولكن الكمية الكبيرة تنوب في المياه التي تجرى في تربة بها نباتات تنمو. جذور النباتات والنباتات التي تحللت تعمل على وجود ثاني أكسيد الكربون في مسام التربة فوق منسوب خط

المياه . وجود ثاني أكسيد الكربون يكون واضح في المياه الجوفية خاصة عندما تكون أيونات الكالسيوم وأيونات البيكربونات مذابة . في ظروف الضغط الجوى تظل كمية ثنائي أكسيد الكربون المذاب ثابتة ، ولكن الضغط قرب مصفاة البئر ينخفض عند الضخ ولذلك يخرج ثاني أكسيد الكربون من المحلول في شكل فقاعات غازية . وترسب كربونات الكالسيوم حتى إعادة الإتران للمحلول . ولخفض ترسيب كربونات الكالسيوم عند ضخ البئر يلزم للعمل على التقليل من انخفاض الضغط ما أمكن . ويمكن تحقيق ذلك بخفض سرعة دخول المياه إلى فتحات المصفاة ويتم ذلك بتوفير مصفاة بئر ذات أقصى مساحة دخول . العلاقة المتداخلة بين الرقم الهيدروجين والبيكربونات وثنائي أكسيد الكربون في الجدول (٤-٦) وهذه الأرقام أقرب إلى الصحيح وإن كانت تحتاج إلى تصحيح بسيط بالنسبة لدرجات الحرارة والأملاح الكلية للمذابة . ولكنها مناسبة ودقيقة بما فيه الكفاية في حالة الحاجة إليها .

جدول (٤-٦) ثنى أكسيد الكربون الحر في الماء

ثنائي أكسيد الكربون الحر عند رقم هيدروجيني مختلف			قلوية البيكربونات مقبلة ككربونات الكالسيوم ملجم / لتر
٨	٧,٥	عند رقم هيدروجيني ٧	
٢	٦	٢٢	١٠٠
٤	١٢	٤٣	٢٠٠
٦	١٧	٦٣	٣٠٠
٧	٢٢	٨٢	٤٠٠

الذرات المشعة : Radionuclides

التحلل الإشعاعي لعناصر معينة غير مستقرة ينتج إشعاعات المسماة بإشعاعات ألفا (H) ، بيتا (B) وجاما (N) . الجسم البشري حساس جداً للتلف من إشعاعات ألفا وجاما . التعرض التراكمي للإشعاعات يمكن أن يسبب بياض الدم (Leukemia) ، عيوب خلقية للمواليد ، تخلف عقلى ، الأورام الخبيثة (Tumors) . استخدام الطاقة الذرية يزيد من متوسط التعرض في أماكن معينة بالنسبة لمصادر الطاقة الذرية التقليدية فإنها ستؤدي إلى زيادة فرص التعرض للتلوث الإشعاعي لكل من مصادر المياه السطحية

والجوفية . وحالياً تبذل جهود لخفض الصرف للمخلفات المشعة نظراً لوجود المياه لفترة طويلة فى الأرض فإن التلوث الإشعاعى يستمر فى حالة وجود المواد المشعة فى التربة الحاملة للمياه . من بين المواد المشعة السامة هو عنصر الراديوم ٢٢٦ . ولكن لحسن الحظ فإن التلوث للمياه الجوفية بالمواد المشعة ليس واسع الانتشار ولكن فى حالة وجودها فإنها تسبب فساد للمياه الجوفية . وقد تحدت معايير التلوث للمياه بالمواد المشعة بالنسبة للراديوم ٢٢٦ ، للراديوم ٢٢٨ لا يزيد عن ٥ بيكورى فى اللتر (البيكورى هو كمية المواد المشعة المنتجة لـ ٢,٢٢ انتقال نووى فى الدقيقة .

البورون ، Boron

قد يوجد البورون بكميات صغيرة جداً ، وعادة يحدد فى المناطق الجافة وشبه الجافة حيث تستخدم المياه للرى ، ورغم أن البورون بكميات قليلة جداً أساسى لنمو النباتات ، إلا أنه متلف لنباتات كثيرة فى حالة زيادة تركيزه عن ١ ملجرام / لتر .

نوعية المياه ، Water Quality

الغرض الأول من تحليل المياه هو لتحديد مدى ملاءمة استخدامها للأغراض المختلفة الاستخدامات الرئيسية للمياه هى للشرب والاستخدام المنزلى وللزراعة والصناعة. وإن كان تستخدم المياه فى بعض العمليات الصناعية يتطلب نوعية من المياه تفوق نوعية المياه للشرب بالنسبة لمياه الشرب والاستخدام المنزلى فإن أقصى نسبة تلوث لمياه للشرب على أساس معدل للشرب للشخص العادى ١,٩ لتر فى اليوم هو الموضح فى الجدول (٤-٧). عادة يمكن مقابلة أكثر من نوعية تربة حاملة للمياه فى البئر بما يترتب عليه احتمال تغيرات كبيرة فى نوعية المياه ، عندئذ يلزم إبعاد المياه ذات النوعية المتدنية من الإمداد الرئيسى ، تعين النوعية البيولوجية للمياه بتحليل الكوليفورم ، بكتريا الكوليفورم هى مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة المستخدمة كمؤشر لخطورة مستوى التلوث نظراً لأن بعض هذه البكتريا تكون فى الإفرزات الغاطية للإنسان ووزوف الدم للحرار عموماً . دراسة هذه الكائنات مفيدة لأنها غير ضارة ولا تتكاثر خارج جسم الإنسان كما أنه يسهل كشفها والتعرف عليها وعدها .

تتص المعايير أن مياه الشرب يجب ألا تحتوي على أكثر من عد واحد للكلورفورم (Icolony) في ١٠٠ سم^٣ من الماء . يلزم عند إنشاء البئر حمايته من الملوثات التي قد تدخل إلى البئر وهذا يعنى عزل مناطق للمياه الملوثة .

جدول (٧-٤) المعايير الدولية لمياه الشرب

المواد	أقصى مستوى للتلوث	المواد	أقصى مستوى للتلوث	المواد	أقصى مستوى للتلوث
الكيمويات الغير عضوية	٠,١	الترابيهالوميستان الكلى	٠,١	الزئبق	٠,٠٥
الزئبق	٠,٠٥	الحد الكلى للكلورفورم	١ في ١٠٠ سم ^٣	الباريوم	١,٠
الباريوم	١,٠	العكارة بمقياس TV	١	الكاديوم	٠,٠١
الكاديوم	٠,٠١	أيون الكلور	٢٥٠ ملجم/لتر	الكروم	٠,٠٥
الكروم	٠,٠٥	اللون (وحدة لون)	١٥	الفلوريد	٠,٨ - ١,٢
الفلوريد	٠,٨ - ١,٢	النحاس	١ ملجم/لتر	الرصاص	٠,٠٥
الرصاص	٠,٠٥	الحديد	٠,٣ ملجم/لتر	الزئبق	٠,٠٠٢
الزئبق	٠,٠٠٢	المنجنيز	٠,٠٥ ملجم/لتر	النترات (N)	١٠,٠٠
النترات (N)	١٠,٠٠	الرائحة (رقم الرائحة)	٣	السيانيد	٠,٠١
السيانيد	٠,٠١	الرقم الهيدروجيني	٦,٥ - ٨,٥	الفضة	٠,٠٥
الفضة	٠,٠٥	الكبريتات	٢٥٠ ملجم/لتر	الكيمويات العضوية المتكورة	٠,٠٠٠٢
الكيمويات العضوية المتكورة	٠,٠٠٠٢	الزئبق	٥٠٠ ملجم/لتر	الإنديين	٠,٠٠٠٤
الإنديين	٠,٠٠٠٤	الأملاح الكاثية للمذابة	٥٠٠ ملجم/لتر	اللندين	٠,٠١
اللندين	٠,٠٠٠٤	المواد المنتجة للراغوى	٥,٠ ملجم/لتر	ميثوكسى كلور	٠,٠٠٥
ميثوكسى كلور	٠,٠٠٥			توكسالين	

الاستخدام الصناعى

نوعية المياه للاستخدامات الصناعية تختلف كثيراً طبقاً للاستخدام . فمثلاً المياه المالحة والمياه المملحة (Salt and Brakish Waters) تستخدم عادة كمياء تبريد وخاصة عند استخدامها مرة واحدة (لا يتم تكريرها) وإمكان التخلص منها بدون تلوث البيئة . التخلص من هذه المياه يعتبر من المشاكل الكبيرة . فقد تكون الطريقة الوحيدة للتخلص هى الحقن فى الآبار العميقة . المياه المستخدمة فى العمليات الصناعية ذات نوعية عالية عن المستخدمة فى التبريد . مياه الشرب تعتبر مناسبة لاستخدامات صناعية

كثيرة عدا في حالة استخدامها في الغلايات . أكثر من ٦٠% من المياه المستخدمة في صناعة منتجات الألبان أو المعلبات أو اللحوم أو المشروبات تترد عن تلك المستخدمة في مياه الشرب . في كثير من الأحيان تكون مياه الشرب مفضلة بسبب ثبات درجة حرارتها نسبياً . في حالات أخرى تكون المياه الجوفية مفضلة بسبب عسرها الطبيعي والذي يكون مفضل في صناعة المخبوزات والليرة . وعلى الجانب الآخر فإن كميات صغيرة من الحديد ، المنجنيز أو الكالسيوم يمكن أن يسبب مشاكل كبيرة في عمليات تصنيع الورق . الجدول (٤-٨) يوضح بعض المواصفات لنوعية المياه المستخدمة في بعض الصناعات .

جدول (٤-٨) أنواع المياه المستخدمة في بعض الصناعات :

الصناعة	المكارة للون	المصمر	القلوية	الحديد والمنجنيز	الأحماض الكمية	خلا
		ملجرام/لتر	ملجرام/لتر	ملجرام/لتر	ملجرام/لتر	فه
منتجات غذائية						
مخبوزات						
بيرة	١٠	١٠	١٠	٠,٢	—	أ
للمطبات	١٠	—	١٥٠-٧٥	٠,١	١٠٠٠-٥٠٠	أب
للحلويت	١٠	١٠٠-٧٥	—	٠,٢	—	أ
للشاي	—	—	—	٠,٢	١٠٠	أج
منتجات	٥	٥	٥٠-٣٠	٠,٢	٣٠٠	—
صناعية						
جلود						
ورق	٢٠	١٠٠-١٠	١٣٥	٠,٤	—	—
لب الورق	٥	٥	—	٠,١	٢٠٠	—
صبغة	٢٠-١٥	٢٠-١٠	١٨٠-١٠٠	١,٠-٠,١	٢٠٠-٢٠٠	—
للمسجات	٥	٢٠-٥	٢٠	٠,٢٥	—	—
للمسجات						هـ
						و

الصناعة	المكثرة	اللون	المصهر ملجرام/لتر مقيوم ككربون كالسيوم	القلوية ملجرام/لتر مقيوم ككربون كالسيوم	الجديد والمنجنيز ملجرام/لتر	الأملاح الكلية ملجرام/لتر	خلا فه
عموماً	٥	٢٠	٢٠	—	٠,٢	٠,٠٢	—
البلاستيك	—	—	—	—	٠,٢	٢٠٠	—
مياه الفسيل	٢	٢	—	—	٠,٢	—	—
—	—	—	٥٠	—	—	—	—

أ = مرغوباً فيه بعض المصهر

ب = كلوريد الصوديوم لا يزيد عن ٢٧٥ ملجرام/لتر

ج = أكسيد السيليكون لا يزيد عن ١٠ ملجرام/لتر ، بيكربونات الكالسيوم
والماغنسيوم تسبب مشاكل كلاً من الكبريتات ، الكلوريدات ، الصوديوم ،
الكالسيوم ، والماغنسيوم كل لا يزيد عن ٣٠٠ ملجرام/لتر .

د = لا تكوين لمواد لزجة أو طينية

هـ = غير عدوانية

و = تكوين ثابت ، الألومنيا المتبقية لا تزيد عن ٠,٥ ملجرام / لتر .

الاستخدام الزراعي

نوعية المياه ونوع التربة وعمليات الزراعة جميعهم لهم دور في عملية الري
الناجحة. المياه ذات النوعية الجيدة توفر أقصى إنتاج طبقاً لنوع التربة المناسبة
والتحكم في عملية الري . دراسة نوع التربة يحدد معدل التسرب الذي يمكن توقعه في
تربة معينة، ولذا يمكن توفير دليل لإمكانية إزالة الأملاح المعدنية (Leaching) من
سطح التربة . والمهم كذلك للتجاوز في أملاح معينة التي يلزم تعيينها قبل البدء في
زراعة محصول معين . الجدول (٩-٤) يوضح المواد والنوعية لتقييم المياه لأغراض
الري . الجدول (١٠-٤) يوضح للتركيزات الموصى بها لتركيز العناصر في مياه
الري .

جدول (٩-٤) لتقييم المصلى لمياه الري :

في حالات خاصة فقط الحديد الليثيوم للنترات - نيتروجين لفوسفات - فوسفور	الحموضة - القلوية نسبة إلمصاص الصوديوم SAR ليثروجين - الأمونيا البيركربونات البورون الكالسيوم الكربونات الكلوريد للتوصيل الكهربى للمغنسيوم للسوديوم للكبريتات
---	--

جدول (١٠-٤) أقصى تركيز موصى به للعناصر فى مياه الري (Trace elements) .

العنصر (الرمز)	للمياه المستخدمة باستمرار فى الري ملجرام / لتر	للمياه المستخدمة لمدة ٢٠ سنة للتربة ذات الحبيبات الصغيرة والرقم الهيدروجين ٦ - ٨,٥ (ملجرام / لتر)
ألومنيوم (Al)	٥,٠	٢٠,٠٠
زرنيخ (AS)	٠,١	٢,٠٠
بريليوم (Be)	٠,١	٠,٥
بورون (B)	١ - ٠,٧٥	٠,٢
كادميوم (Cd)	٠,٠١	٠,٠٥
كروميوم (Cr)	٠,١	١,٠
كوبالت (Co)	٠,٠٥	٥,٠٠
نحاس (Cu)	٠,٢	٥,٠٠
فلوريد (F)	١,٠	١٥,٠٠
حديد (Fe)	٥,٠	٢٠,٠٠
رصاص (Pb)	٥,٠	١٠,٠٠
ليثيوم (Li)	٢,٥	٢,٥
منجنيز (Mn)	٠,٢	١٠,٠٠
مولبدنيوم (Mo)	٠,٠١	٠,٠٥*

المياه المستخدمة بمستمر في الري ملجرم / لتر	للمياه المستخدمة لمدة ٢٠ سنة للتربة ذات الحبيبات الصغيرة والرقم الهيدروجيني ٦ - ٨,٥ (ملجرم / لتر)	العنصر (الرمز)
٠,٢	٢,٠٠	نيكل (Ni)
٠,٠٢	٠,٠٢	سيلينيوم (Se)
٠,١	١,٠٠	فاناديوم (V)
٢,٠٠	١٠,٠٠	زنك (Zn)

× للمياه في التربة الحامضية ذات الحبيبات الدقيقة وبها نسبة عالية من أكسيد الحديد.

• لا توجد بيانات عن الزئبق ، الفضة ، القصدير ، التيتانيوم ، للتجستن .

مشاكل نوعية المياه في الري تشمل الملوحة والسمية ، الملوحة الزائدة تحدث عندما تستراكم الأملاح على سطح التربة . هذه الأملاح يمكن أن تؤثر على الإنتاج الحاصل نظراً لأن جذور المحصول وخاصة في المنطقة العليا للجذور تجد صعوبة كبيرة في استخلاص المياه الكافية والعناصر الغذائية من المحلول الملحي . ولهذا فإن إنتاج المحصول يفقد لعدم وصول المياه إلى منطقة الجذور . تعتبر السمية مشكلة كذلك نحو توفير محصول جيد .

بعض المياه تحتوي على تركيزات عالية من عناصر معينة والتي تؤخر أو توقف نمو بعض النباتات . ومن هذه المواد البورون والكلوريدات والصوديوم . الصوديوم له تأثير بعيد على التربة . معظم الصوديوم في المياه الطبيعية يكون ناتج من تفتت الفلدسبار منتجاً مواد مذابة ، وكذلك بعض من الصوديوم يكون من المواد الهالوجينية (Mineral Halite) في التربة مثل ملح الطعام . من المهم هو النسبة بين الصوديوم إلى الكالسيوم والمغنسيوم . عند استخدام المياه المحتوية على صوديوم عالي في التربة ، فإن بعض الصوديوم يمتص بواسطة الطمي (Clay) في شكل تبادل قاعدي مع الكالسيوم والمغنسيوم الموجود في الطمي . عندئذ تتغير الخصائص الطبيعية للتربة بما يمكن أن يؤدي إلى تأخر نمو النبات . الطمي الذي يمتص

للسوديوم يصبح لزج (Sticky) وزلق (Slück) عندما يبثل ويتخفّض نفاذيته . وعندما يجف فإن الطمي ينكمش إلى كتل صلبة والتي يصعب زراعتها . هذا بالإضافة إلى أن التركيز العالي من أملاح الصوديوم يمكن أن يسبب في قلوية التربة حيث يكون نمو النباتات ضعيف أو معدوم . ولكن عند حمل نفس الطمي للكالسيوم أو للمغنسيوم في شكل أيونات زائدة فإنه يمكن حرثها (Tills) بسهولة وتتحسن نفاذيتها .

فى حالة احتواء مياه الري على أيونات الكالسيوم والمغنسيوم بكمية كافية مساوية لأيونات الصوديوم أو تزيد عنها ، فإنه يحتجز الكالسيوم والمغنسيوم فى الطمي بكمية كافية بما يحافظ على النفاذية الجيدة والحرث الجيد . هذه المياه مفيدة فى الري حتى ولو كان إجمالى الأملاح المعدنية فى المياه عالية نسبياً .

أهمية الصوديوم أدى إلى تبني طريقة قياس تأثير أيون الصوديوم . وفى عام ١٩٥٤ قام معمل للملوحة فى أمريكا بالقتراح أن تأثير الصوديوم يمكن حسابه بنسبة لمصاص الصوديوم (Sodium Adsorption Ratio (SAR). طريقة SAR يمكن حسابها من المعادلة الآتية . حيث كلاً من الكالسيوم والمغنسيوم تكون مجموع المكافئ

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

جزء فى المليون / لتر (Milliequivalent / litre) من تحاليل المياه . تصحيح الصوديوم الزائد فى التربة يكون نتيجة مياه الري حيث قيمة SAR ١٨ أو أكثر . قيمة SAR أقل من ١٠ تبين أنه لا خطورة من مشاكل الصوديوم . فى الظروف الطبيعية يأخذ النبات قليلاً من الأملاح المعدنية المذابة فى مياه الري .

جدول (٤/١١) معاملات التحويل الكيمائية (عند التحويل من إلى اضرب فى)

المكونات	ملجرام / لتر إلى المكافئ جزء فى المليون	للمكافئ جزء فى المليون إلى ملجرام / لتر	ملجرام / لتر إلى ملجرام / لتر كربونات كالسيوم (CaCO ₃)
كالسيوم	٠,٠٤٩٩	٢٠,٠٤	٢,٤٩٧
الحديد	٠,٠٣٥٨	٢٧,٩٢	٠,٦١٢
المغنسيوم	٠,٠٨٢٢	١٢,١٦	٤,١١٥

المكونات	ملجرم / لتر إلى المكافئ جزء في المليون	المكافئ جزء في المليون إلى ملجرم / لتر	ملجرم / لتر إلى ملجرم / لتر كربونات الكالسيوم (CaCO ₃)
البوتاسيوم	٠,٠٢٥٦	٣٩,١٠	١,٢٨٠
الصوديوم	٠,٠٤٣٥	٢٣,٠٠	٢,١٧٦
البيركربونات	٠,٠١٢٣	٨١,٠٥	٠,٦١٧
الكربونات	٠,٠٣٣٣	٣٠,٠٠	١,٦٦٨
الكلوريد	٠,٠٢٨٢	٣٥٠,٤٦	١,٤١١
الإيدروكسيد	٠,٠٥٨٨	١٧,٠١	٢,٩٢٦
النترات	٠,٠١٦١	٦٢,٠١	٠,٨٠٧
الفوسفات	٠,٠٣١٦	٣١,٦٧	١,٥٨
كبريتات	٠,٠٢٠٨	٤٨,٠٤	١,٠٤٢
بيكربونات الكالسيوم	٠,٠١٢٣	٨١,٠٥	٠,٦١٧
كربونات الكالسيوم	٠,٠٢٠٠	٥٠,٠٤	١,٠٠
كلوريد الكالسيوم	٠,٠١٨	٥٥,٥	٠,٩٠٢
إيدروكسيد الكالسيوم	٠,٠٢٧	٣٧,٠٢	١,٣٥١
كبريتات الكالسيوم	٠,٠١٤٧	٦٨,٠٧	٠,٧٣٥
بيكربونات الحديدوز	٠,٠١١٢	٨٨,٩٣	٠,٥٦٣
كربونات الحديدوز	٠,٠٢٣٧	٤٢,١٦	١,١٨٧
كلوريد الماغنسيوم	٠,٠٢١	٤٧,٦٢	١,٠٥١
إيدروكسيد الماغنسيوم	٠,٠٣٤٣	٢٩,١٧	١,٧١٥
الماغنسيوم	٠,٠١٦٦	٦٠,٢	٠,٦٣١
كبريتات الماغنسيوم	٠,٠١٣٤	٧٤,٥٦	٠,٦٧١
كلوريد البوتاسيوم	٠,٠١١٩	٨٤,٠١	٠,٥٩٦
بيكربونات	٠,٠١٨٩	٥٣,٠٠	٠,٩٤٤
الصوديوم	٠,٠١٧١	٥٨,٤٦	٠,٨٥٦
كربونات الصوديوم	٠,٠٢٤٥	٤٠,٠١	١,٢٥١
كلوريد الصوديوم	٠,٠١١٨	٨٥,٠١	٠,٥٨٩
إيدروكسيد الصوديوم	٠,٠١٨٣	٥٤,٦٧	٠,٩١٥
نترات الصوديوم	٠,٠١٤١	٧١,٠٤	٠,٧٠٤
فوسفات الصوديوم			
كبريتات الصوديوم			

معظم الأملاح المعدنية الموجودة في الماء تبقى في التربة أو تظل مذابة في

الجزء الغير مستخدم من الماء .الرى المتكرر يمكن أن ينتج عنه تراكم أملاح كثيرة وبذا يتلف الإنتاجية للتربة المروية . لذا يلزم وجود بعض طرق سحب الأملاح المتراكمة فى التربة (Leaching) بإذابتها وتسربها إلى جوف الأرض . فى الظروف الطبيعية لنوعية المياه يمكن الرى بالتتالى إذا كان للتحكم يشمل (١)الرى من أن لآخر لتوفير مياه للتربة للمحصول (٢) زراعة المحاصيل التى تتحمل مشاكل الملوحة (٣) استخدام مياه زائدة بطريقة روتينية لتوفير لاحتياجات إذابة الأملاح وتصريفها (Leaching) (٤) تغيير طريقة الرى بما يوفر للتحكم فى الأملاح (٥) تغيير أساليب الاستزراع . تحليل نوعية المياه يساعد على عملية للتحكم ولذلك يلزم عمل التحاليل السنوى للمياه للكشف عن أى تغير يمكن أن يؤثر على الإنتاجية . التحاليل الكيميائية لمياه الرى لا تبين أن المياه خالية من البكتريا الممرضة لذلك فإنها لا تناسب الاستخدام للشرب . لذلك يلزم مراجعة للتأثير الصحى للمياه من أن لآخر لإمكان استخدامها بدون معالجة لتأكيد خلوها من البكتريا الممرضة .

وحدات القياس ، Units of Measure

القياس الأكثر شيوعاً من الأملاح المذابة هو جزء فى المليون بالنسبة للوزن ، أى جزء بالوزن من المواد المعدنية المذابة موجود فى مليون جزء بالوزن من الماء . المواد المعدنية المذابة تسمى كذلك الأملاح الكلية المذابة (Total Dissolved Solids \TDS) . التعبير ملجرام / لتر يستخدم لدقته ويساوى وحدات جزء فى المليون بالنسبة للمياه العذبة . عند تحويل ملجرام / لتر إلى المكافئ لكل مليون (Equivalent \ Million) (epm) ويسمى كذلك المكافئ بالملجرام / لتر (Milligram Equivalent \ litre) (Meq) . لتعيين المكافئ فى المليون (epm) يتم قسمة تركيز الأيون بالملجرام /لتر على الوزن المكافئ لهذا الأيون . الوزن المكافئ يساوى الوزن الجزيئى مقسوماً على التكافؤ .

الفصل الخامس

طرق حفر الآبار

توجد طرق مختلفة لحفر الآبار نظراً للتفاوت في الطبيعة الجيولوجية للتربة ما بين الصخور الصلبة مثل الجرانيت والداوميت إلى الرواسب الغير متماسكة مثل الرمال والزلط والطمي . في كثير من الحالات يكون استخدام طريقة معينة هو السائد في أماكن محددة نظراً لقدرتها على اختراق الخزان الجوفي وبذلك تحقق وفراً في التكاليف . وفي حالات أخرى تتغير طريقة الحفر طبقاً لعمق وأقطار البئر ونوع التربة المخترقة والاشتراطات الصحية والاستخدام الرئيسي للبئر . ولهذا فإنه لا توجد طريقة مفضلة لكل الظروف الجيولوجية . الحفر الناجح هو فن ناتج عن الخبرة الطويلة والاستخدام السليم للأداء الهندسي .

تشمل إنشاءات البئر ٤-٥ عمليات وهي الحفر ، وضع المصفاة ، وضع المصفاة والظهير الزلطي وعند الحاجة وضع التحشية الأسمنتية (Grouting) لتوفير الحماية الصحية ، بالإضافة إلى تنمية البئر لتأكيد الخلو من الرمال عند أقصى إنتاج . يمكن تنفيذ ٢-٣ من هذه العمليات في نفس الوقت طبقاً لطريقة الحفر المستخدمة . فمثلاً عند الحفر في التربة الغير متماسكة بطريقة الكابل أو بطريقة الحفر خلال دافع القيسون (Drill Through Casing Driver) ، فإن القيسون يركب مع تقدم الحفر . أما عندما يكون الدافع للمصفاة تنفذ ثلاث عمليات سوياً ، فتح الحفر ، إنشاء القيسون ومصفاة البئر .

طرق الحفر وأساليب الإنشاء متعددة . الحدود العملية لمعظم طرق الحفر تتوقف على الظروف الجيولوجية . سيتم الإشارة إلى بعض طرق الحفر .

طريقة الحفر بالكابل : (Cable Drilling Method)

تعتبر طريقة الحفر بالكابل هي أقدم طريقة لحفر الآبار ابتكرها الصينيون منذ أكثر من ٤٠٠٠ سنة حيث استخدم الكابل والدق (Percussion) حيث أمكن حفر بئر لعمق ٦١٥ متر واستغرق الإنشاء عقدين أو ثلاثة . تسمى ماكينة الحفر بالكابل تجهيزة النقر أو الدق (Percussion Rigs) وتعمل بتكرار الرفع والخفض للكابل الثقيل لألة الحفر في ثقب الحفر شكل (١-٥) قطعة الحفر تفتت للصخور الصلبة كما تعمل على تفكيك

الترتية الغير متماسكة . وفي كلا الحالتين عملية للنقر للترددية تعمل على خلط مواد التربة المفككة بالماء مكوناً روبة (Slurry) في قاع الحفر . وفي حالة عدم وجود ماء فسي للتربة الجارى اختراقها يضاف الماء ليكون الروبة تراكم الروبة يزداد مع زيادة الحفر وكذلك خفض الارتطام لأدوات الحفر . عندما يكون معدل الحفر غير مناسب تزال الروبة على فترات من الحفر بواسطة طلمبة أو بالزرح (Sand Pump or Bailor) . شكل (٥-١)

معدة كابل الحفر الكاملة تتكون من خمسة مكونات :

لقمة الحفر Drill bit

عامود الحفر Drill stem

أزرع ومجرى تحرير قطعة الحفر Drilling Jars

قطعة دوارة على قاعدة ثابتة Swivel Socket

الكابل Cable

لقمة الحفر لمعدة كابل الحفر عادة ضخمة وثقيلة ليتمكنها تفتيت وخلط كل مواد التربة . عامود الرفع يضيف ثقل إلى لقمة الحفر وطوله يساعد على استمرار استقامة الحفر عند الحفر في صخور صلبة . تتكون أزرع ومجرى تحرير لقمة الحفر (Drilling Jars) من عامودين صلب معالج منفصلين . عند ارتطام لقمة الحفر فإنها يمكن أن تتحرر معظم الوقت بانزلاق أزرع التحرير لقمة الحفر لأعلى حيث أنها حرة الحركة ، مشوار أزرع الانزلاق للقمة الحفر من ٩ إلى ١٨ بوصة . قطعة الدوران على القاعدة الثابتة (Swivel Socket) توصل منظومة الحفر بالكابل ، بالإضافة إلى أنها تضيف بوزنها إلى طاقة الرفع للأزرع عندما يكون ذلك ضروري . وهى كذلك تنقل دوران الكابل إلى الأجزاء وإلى لقمة الحفر بما يمكن من تكسير لصخر جديد مع كل مشوار لأسفل وبالتالي يحقق حفر دائري ومستقيم . مكونات الأجزاء مقلوطة مع بعضها .

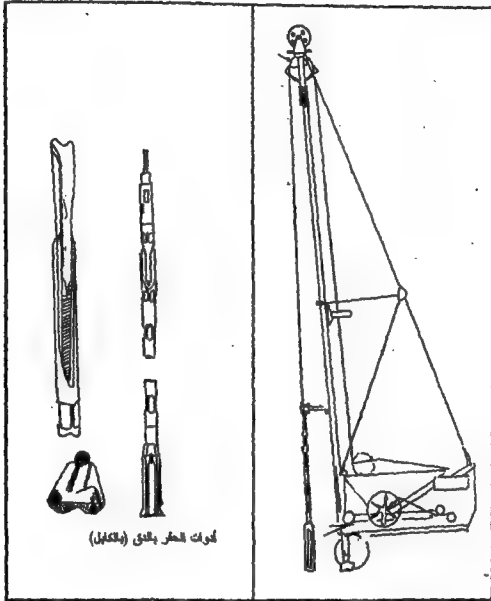
سلك الكابل الذى يحمل ويعمل على دوران أجزاء الحفر يسمى خط الحفر .

وهو بقطر $\frac{5}{8}$ إلى ١ (بوصة) وهو يلف وصلة الأجزاء عند كل مشورل لأعلى بما يمتد منها من التفكك . خط الحفر ملفوف على بكرة (لها حلزوني في الدوران الكامل) أعلا الصاري وأسفل صارى الحفر (Spudding Sheane) إلى صارى القاعدة ، ثم إلى خط التشغيل لقاعدة للدفع شكل (١-٥) . بكرة الرفع مجهزة بفواصل على أسطوانة البكرة ليكون خط للتشغيل على جانب وخط الاحتياط على جانب . دلو اللزح يستخدم لإزالة الروبة أو الصخور يتكون من ماسورة مجهزة بمحبس عدم رجوع عند ألقاع (محبس قدم) . دلو اللزح متصل بكابل يسمى خط الرمال . وقد تستخدم طلمبة للرمال أو دلو السحب (Suction bailer) . للدلو مجهز بمكبس حيث الدفع للمو للالمكبس يعمل على إيجاد تفريغ الذى يفتح المحبس وامتصاص الرمال والروبة فى الماسورة . معظم طلمبات سحب للرمال بطول ٣ إلى ٦,١ متر .

خصائص الحفر لأعلى ولأسفل لماكينة الكابل يرجع إلى الكرة المتحركة ترتكز على محور من جانب والجانب الخارجى يتحرك لأعلى ولأسفل بذراع أو بذراعين توصيل متصل بعمود إدارة . وضبط المشورل للرأس وعدد المشاورى فى الدففة يمكن ضبطه بتجهيزات خاصة .

يوجد خط كابل لدفع القيسون والمصفاة والطلمبة ... الخ .

ماكينة كابل الحفر لها حدود بالنسبة لعمق الحفر وقطر الحفر . فمثلاً بالنسبة للقطر الصغير يمكن أن يزداد العمق . يمكن منع احتكاك القيسون أثناء الانزال باستخدام سائل الحفر خارج القيسون أثناء الحفر . عند حفر الآبار فإن ماكينة الكابل يمكنها الحفر لعمق من ٣٠٠ قدم إلى ٥٠٠٠ قدم (٩١,٥ متر - ١٥٢٠ متر) . فى حالة الحفر فى تربة متماسكة لاستخدام القيسونات فى كل أو فى أجزاء من الحفر . وفى بعض الحالات يتناقص قطر القيسون وكذلك قد يتناقص قطر المصفاة مع زيادة العمق وطبقاً لنوع التربة ، عندئذ يتم إزال القيسون أو المصفاة بالطريقة التمسكوبية .



شكل (١-٥) مكونات الحفر بالكابل ومكوناتها

الحفر الدوار المباشر (الحفر المحوري) Direct Rotary Drilling

استخدمت طريقة الحفر المحوري لزيادة سرعة الحفر وزيادة عمق الحفر في معظم أنواع التربة شكل (١-٢) بحفر البئر بواسطة أداة القطع للدوارة (Rotating bit) وتزال تربة القطع باستمرار بتدوير سائل الحفر مع اختراق أداة القطع للدوارة للتربة. أداة القطع متصلة بالنهاية السفلى لمانورة الحفر، والتي تنقل الحركة الدورانية من

الألات إلى أداة القطع . في طريقة الحفر المحورى المباشر يتم ضخ سائل الحفر خلال ماسورة الحفر ثم يتدفق السائل إلى أعلا في المسافة بين الحفر وماسورة الحفر حاملاً معه ناتج الحفر عالقاً بسائل الحفر إلى حفرة تجميع سائل الحفر وتكويره بعد ترسيب ناتج الحفر في حفرة مستطيلة . ثم يعاد ضخ سائل الحفر من نهاية حفرة الترسيب أو من حفرة ترسيب ثانية وقد تستخدم أحواض تجميع في حالة الآبار الضحلة .

قبل عام ١٩٢٠ نوع الحفر للدوار الذى يستخدم كان يستخدم القيسون نفسه كماسورة حفر وكانت هذه العملية تسمى للدوار (Whirler) . وكانت النهاية السفلى للقيسون مزودة بنهاية قطع ذات قطر كبير قليلاً من قطر القيسون . نهاية القطع تعمل على قطع وتفثيت التربة مع دوران الماسورة . استخدم الماء المضغوط داخل الماسورة لرفع نواتج الحفر إلى السطح . وكانت تستخدم اللطفلة والطمى من الموارد المحلية لقلل الفتحات في جدار الحفر ولاستمرار التدوير . كانت هذه الطريقة مناسبة لحفر الآبار الصغيرة وللضحلة حيث التربة خالية من الكتل الصخرية .

فى آبار المياه يستخدم الحفر الدوار نوعين من قم الحفر وهما الجرافة (Dragbit) (زيل السمكة) وتستخدم فى التربة الغير متماسكة ولشبه متماسكة أو قطعة الحفر التى تستخدم فى للتربة المتماسكة فهى الدوارة أو القمعية شكل (٥/٢، ٥/٣) . تصنع قم الحفر الدوارة إما من أسنان من الصلب من أشكال مختلفة وفواصل مختلفة وأطوال مختلفة ليمن لكل سنة تشكيل ضغط على نقطة مختلفة من قاع الحفر مع دوران لقمة للقطع . أسنان الأغصاع للقريبة من بعضها متداخلة بما يمكن من النظافة الذاتية . الأسنان الطويلة وذات فواصل كبيرة تستخدم فى التربة اللطافية اللينة أما الأسنان القصيرة المتلاصقة تستخدم للتربة الصلبة مثل الدولوميت والجرانيت والبازلت .. الخ . لقمة الحفر ثلاثية الأغصاع (Tricone bit) تستخدم فى كل أنواع التربة . كما توجد أشكال أخرى من قم الحفر . سطح القطع للقمة الحفر تسلط عليه نافورة من سائل الحفر والذى يعمل على التبريد والتنظيف من نواتج الحفر وفى التكسير وهذا السائل يسلط على لقمة الحفر من دأخلها .

يستخدم موسع (Reamer) لتوفير الاستقامة والنظافة والتوسيع لقطر الحفر ، وهذه عبارة عن مقطع من ماسورة الحفر بطول ٣ إلى ٦,١ متر ذات سطح مقوى من أعصاب (rib) راسية مقصاة لو من فلنجات ملحومة على مقطع قصير من ماسورة الحفر ما بين لقمة الحفر والمثبت (Stabilizer) .

لقمة الحفر تكون متصلة بالنهاية السفلى لماسورة الحفر والتي تمثل عامود إدارة أسطوانى طويل . سلسلة الحفر تتكون عادةً من أربع أجزاء وهى لقمة الحفر قفيز حفر أو أكثر والذي يسمى المثبت (Stabilizer) وأطوال من ماسورة الحفر ، ماكينة تشغيل على قاعدة ومجموعة حركة التشغيل بالدوران والخفض والرفع لماسورة الحفر وتسمى كيلي (Kelly) شكل (٥/٤) والتي تكون ذات مقطع سداسى أو مربع أو حلزوني .

وميزة الحفر بالدوران المباشر هى سرعة الاختراق فى جميع أنواع التربة بالإضافة إلى أقل كم من القيسونات أثناء عملية الحفر وكذلك سهولة إنزال المصفاة كجزء من إنشاءات القيسون ولكن للتشغيل يحتاج إلى مهارة فائقة وخبرة بالإضافة إلى التكلفة العالية للحفر بهذه الطريقة .

سوائل الحفر .

تتطلب استخدام سوائل الحفر لملامى لتوفير كفاءة الحفر الدوار . يلزم توفر تجانس بين قطر الحفر ، قطر ماسورة الحفر ، نوع لقمة الحفر ، امكانيات الضخ ، خصائص سائل الحفر طبقاً للظروف الجيولوجية فى موقع الحفر . سوائل الحفر تشمل الهواء والماء النقى ومخلوط من مواد أخرى . استخدام سوائل الحفر يحقق الآتى :

. رفع ناتج الحفر من قاع الحفر إلى السطح حيث حفرة الترسيب المستطيلة .

. تثبيت وسند حائط الحفر ومنعه من الانهيار (Caving) .

. دهان حائط الحفر لخفض الفقر فى السائل .

. تبريد وتنظيف لقمة الحفر .

. يوفر الترسيب لنتائج الحفر فى حفرة الترسيب .

. تشحيم لقمة الحفر ، كراسى التحميل ، طلمبة الطفلة ، ماسورة الحفر .

تعتمد لزوجة السائل وقدرته على حمل ناتج الحفر على عدة عوامل بحيث تكون بسرعة ارتفاع السائل في الحفر من ٣٠ إلى ٤٥ متر في الدقيقة . تزداد قدرة سائل الحفر على حمل الحفر كلما زادت اللزوجة وزادت السرعة .

سائل الحفر يمنع انهيار قطر الحفر بسبب الضغط على السطح الخارجى لقطر الحفر . طالما ان الضغط للهيدروستاتيكي للسائل يزيد عن ضغط التربة فإن قطر الحفر يظل مفتوحاً . للضغط عند أى عمق يساوى وزن عمود سائل الحفر فوق هذه النقطة .

فى للتربة الغنية بالطفلة يمكن بدء الحفر باستخدام المياه النقية الذى يختلط بسرعة مع الطفلة الطبيعية فى فتحة الحفر مكوناً طبقة رقيقة من الطفلة . والماء النقي يستخدم فى هذه الحالة فى الجزء العلوى من قطر الحفر ولعمق حتى ٣٠ إلى ٩٠ متر . والمحافظة على الضغط للهيدروستاتيكي واللزوجة المناسبة تتم إضافات إلى سائل الحفر من طفلة ذات نوعية جيدة او بلمرات مخلقة . بعد تمام الخلط لسائل الحفر وتمام تميؤه (hydration) يتم تدويره فى قطر الحفر باستخدام مضخة الروبة (Mud pump) . يتم اختيار طاقة الطلمبة بما يحافظ على ثبات سرعة السائل لأعلى وتستخدم لذلك مضخة طرد مركزي او مضخة الكباس (Piston pump) .



شكل (٥-٣) قطعة الحفر الثلاثة



شكل (٥-٢) قطعة الحفر الدوارة



شكل (٥-٤) عمود الحفر الدوارة

الحفر العكسي، بالهواء ، Inverse drilling

تعتبر هذه الطريقة تحديث لطريقة الدوران المباشر ذات الحركة العلوية حيث يضاف الهواء خلال استخدام ماسورة ٦ بوصة داخلية و ماسورة تخريم بقطر $\frac{5}{8}$ بوصة بها قناة لمرور الهواء. هذه المعدة تسمح ببيتق الهواء المضغوط إلى اللقنات الهوائية خارج ماسورة التخريم ثم إلى سائل التخريم مع تحركه إلى أعلا داخل ماسورة التخريم شكل (٥-٥) . وبهذا فإن سائل التخريم وناتج الحفر يتم رفعهم إلى السطح بمساعدة الهواء داخل الماسورة للدليل ٦ بوصة (ماسورة التخريم) .

باستخدام هذه الطريقة يمكن زيادة طاقة التخريم في حفر آبار ذات قطر كبير . حيث يمكن عمل قطر حفر حتى ٢٠ إلى ٣٠ بوصة بطريقة روتينية كما يمكن عمل عمق حفر أكبر من ٣٠ على ٦٠ متر في للتربة الغير متماسكة . الأقطار أقل من ١٢ بوصة لا يوصى بحفرها نظراً لأن القطر الخارجى لماسورة الحفر هو ٩ بوصة .

ضغط الهواء المستخدم هو ١٢٥ رطل على اللبوصة للمربعة بمعدل ٠,١ متر مكعب في الثانية . عند هذا الضغط يكون أقصى عمق لعمود الحفر هو ٧٦,٢ متر وفى حالة زيادة العمق يتم تجهيز ماسورة الحفر ذات اللقنات الهوائية فوق ماسورة الحفر التقليدية حتى اى عمق أكبر من ٧٦ متر . تستخدم فى هذه الطريقة طلمبة اللترد المركزى طلمبة المكبس (Piston Pump) ذات قطر وطول المشوار ٤×٣ أو ٥×٥ . ٦

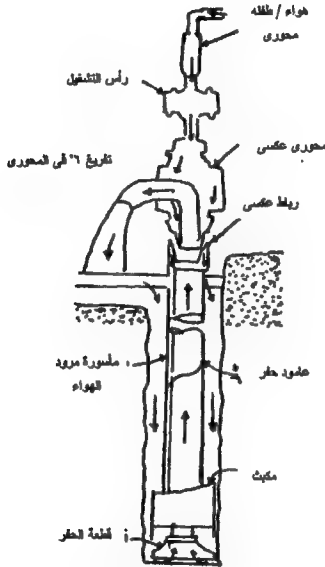
مميزات طريقة الحفر العكسى بالهواء هو امكان الحفر بأقطار كبيرة والسرعة العالية للاختراق فى التربة الغير متماسكة واستخدام سائل الحفر لرفع ناتج الحفر وزمن التنمية قليل أما سلبياتها فهي زيادة للتكاليف وزمن الحفر كبير فى حالة الآبار العميقة .

الحفر بالنبق (التدفق) Jet Drilling

توجد طريقتين لإنشاء الآبار باستخدام تيار ماء على السرعة فى خطبة الحفر . أحدهما هذه الطرق هو بنظام النقر ببيتق تيار ماء (Jet Percussion System) للحفر حيث

أنه يمكن استخدامها لحفر أقطار محدودة من ٣-٤ بوصة ولعمق حتى ٦١ متر . أما الآبار ذات الأقطار الكبيرة ولعمق أكبر من ٦١ متر تستخدم لها طرق أخرى .

أولت الحفر فى نظام النقر ببثق تيار الماء تتكون من قطعة حفر فى شكل أزميل (Chisel) مثبتة فى الجزء السفلى لماسورة الحفر . الثقوب على لجانب قطعة الحفر تعمل كنافورة لضغط المياه (بثق) والذي يحافظ على نظافة قطعة الحفر وفى الوقت نفسه للعمل على تفكك التربة للجارى حفرها . تضخ المياه تحت ضغط متوسط إلى مرتفع خلال ماسورة الحفر إلى خارج لقمة الحفر . ماء الحفر عندئذ يتدفق إلى أعلا فى الفراغ المحيط بماسورة الحفر ، حاملاً معه ناتج الحفر فى شكل مواد عالقة إلى سطح الأرض حيث يتدفق فى حفرة ترسيب أو أكثر لترسيب المواد العالقة . يتم سحب المياه مرة أخرى بواسطة طلمبة سحب (Suction) وتكوّرها خلال ماسورة الحفر . نظام دورة المسائل يشبه الحفر المباشر بالدوران . مع استمرار تدوير المياه فإن قطعة الحفر والقضبان ترفع وتنسقط مثل حالة الحفر بالكابل ولكن المشوار أقل . للقيسون المجهز بقدمه دفع يسقط مع تقدم الحفر . يتم استخدام إضافات لمسائل الحفر . تستخدم هذه الطريقة لحفر الآبار ذات الأقطار الصغيرة فى التربة الحاملة الرملية وكذلك التربة شبه المتماسكة وكذلك المتماسكة إلى حد ما .



شكل (٥-٥) الحفر العكسي بالهوام

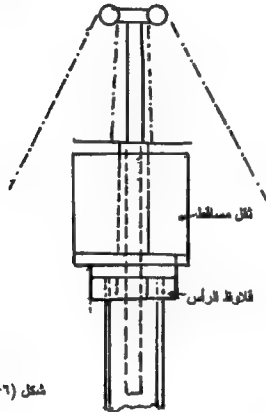
نوع آخر من الحفر باستخدام مواسير ذات قطر صغير ممتد له قاع مفتوح
 ليتمكن غوصه في الرمال باستخدام غسيل المياه بدون أى وسيلة حفر .
 وهناك طرق أخرى كثيرة لحفر الآبار ولكن الشائع منها في مصر هي الطرق
 الآتية :

١- الطريقة اليدوية،

وهذه الطريقة هي الشائعة في مصر وتستعمل في حفر الآبار التي لا يزيد قطرها عن ٨ بوصة وإلى عمق حوالي ٨٠ متر من سطح الأرض. في هذه الطريقة تستخدم طريقة القيسونات المتداخلة على أن يكون قطر القيسون الأخير أكبر من قطر الحفر بما لا يقل عن ٦ بوصة وذلك لإمكان تنفيذ الغلاف الزلطي قبل رفع القيسون . يتم خفض قطر القيسون بحوالي بوصتين بعد كل حفر بعمق ٣٠ - ٤٠ متر شكل (٦-٥).

تستخدم في الحفر البريمة للقلووظ في حفر التربة الطينية المتماسكة والبلف في حفر التربة الرملية وهذا البلف يسمح بدخول ناتج الحفر إلى داخله ولا يسمح بخروجه .

ويستعمل وصلة التكسير في تفطيت التربة الصلبة التي تعيق استمرار الحفر . بعد امتلاء البريمة أو البلف بناتج الحفر ترفع إلى خارج قطر الحفر لتفريغها ثم يعاد إنزالها بعد زيادة طولها بخط المواسير لاستمرار وزيادة عمق الحفر. بعد الوصول إلى العمق المطلوب يتم إنزال مواسير للبئر داخل قطر الحفر وذلك عند سحب قيسون الحفر تدريجياً إلى أعلا . يملأ الفراغ الخارجى بين جدار الحفر ومواسير السحب للبئر والمصافى وذلك بالزلط الفينو حول المصافى تعلوه طبقة من الرمل النظيف الخشن بطول ١ متر تعلوها طبقة من المونة الأسمنتية حول المطح الخارجى لماسورة السحب للبئر وذلك لمنع وصول الملوثات من المياه السطحية إلى المياه الجوفية . وعادة لا يزيد معدل الحفر اليومي بالطريقة اليدوية عن عشرة أمتار وهذا من أهم عيوب هذه الطريقة .



شكل (٦-٥) آبار المواسير

١- طريقة الحفر بالدق.

تستخدم هذه الطريقة في حفر الآبار التي يتراوح قطرها بين ٨ إلى ١٥ بوصة والتي يصل عمقها حتى ١٠٠ متر ويستعان فيها بآلات البكر والقص والونش . وهذه الطريقة تشبه طريقة الحفر اليدوية من حيث القيسونات حيث يستعمل بلف يناسب للقطر الخارجي للقيسون المستخدم وقاعه من خوص الصلب للمتعمدة وذات حافة حادة تستطيع بمعاونة ثقلها أن تخترق الطبقة الطينية وتفتتها وتحولها إلى روبة والتي

تُرفع ببيلف آخر لعدم الرجوع (حيث تتخل الروبة ولا تخرج) ثم يستكمل العمل بنفس الطريقة المتبعة في الحفر اليدوى .

تفويس الآبار ،

ويشمل الآبار ذات الأقطار الكبيرة والآبار ذات المواسير .

الآبار ذات الأقطار الكبيرة .

تنشأ الآبار ذات الأقطار الكبيرة (Dug Wells) بالحفر وإخراج الناتج ، وتبطن غالباً إما بمباني من الطوب أو بحديد الزهر أو لفخار المزجج وذلك لمسافة حتى ٣ متر تحت سطح الماء . وعند تبطينها بالطوب يراعى ألا يقل السمك عن طوبة واحدة وبمونة قوية من الأسمنت ، ويكون الطوب بطبقات طولية وعرضية بالتبادل .

تفويس الآبار ذات الأقطار الكبيرة .

وهى الطريقة الأكثر استعمالاً فى تفويس الآبار حيث يتم حفر جزء من الأرض أولاً بمساحة البئر وتوضع دخله خنزيرة مستديرة من الخشب القوى ، أو الحديد أو الصلب بالمقاس والسمك اللازم للبطانة . ولها حافة رأسية بالدوائر الخارجى . وأحياناً يتم عمل الخنزيرة من الخرسانة المسلحة والحديد بدلاً من الخشب وتكون ذات حد قاطع ويتم تسويتها أفقياً بعناية ثم توضع المباني من الطوب فوقها حتى تصل بها إلى السطح . يراعى وضع الطوب فى طبقات أفقية ليتمكن التحميل المنتظم للخنزيرة وذلك مع بياض حوائط البئر من الخارج لتقليل الاحتكاك عند التفويس . يستمر البناء إلى أن يصل إلى عدة أقدام فوق سطح الأرض ثم يحفر داخل البئر إلى عمق يتراوح ما بين ٢-٣ قدم بكامل المساحة الداخلية للبطانة ، حيث تصبح الأخيرة محملة بالاحتكاك على الجوانب وعلى الأرض التى تحتها ، يراعى إزالة التربة تحت الخنزيرة بعناية حتى تنزل للخنزيرة وما فوقها من مباني إلى مستوى الحفر . أثناء ذلك يتم البناء بالطوب الذى يساعد بقله على إنزال الخنزيرة والمباني إلى أسفل . يجب العناية بإجراء هذا التفويس بانتظام حتى يسهل إنزال البئر رأسياً ، كما يجب الحفر على طبقات قليلة العمق . فى حالة انهيار جوانب الحفر أثناء التفويس عندئذ يتم ملئ

الفراغات السفلى التى قد توجد حول المباني بالخرسانة مع دكها جيداً وذلك عند الانتهاء من عملية التفويص . قد تكون المباني من الخرسانة المسلحة وتربط بالخزيرة فى المباني الطوب بجوابط رأسية عبارة عن أسياخ تسليح قطر $1/2$ أو $3/4$ بوصة على مسافة حوالى المتر من بعضها فى دايـر البئر ، وطول الأسياخ ٥ متر تربط بمدماك كامل من الخرسانة سمكه حوالى ١٥،٠ إلى ٢٠،٢ متر ، ومنه تبدأ أسياخ رأسية أخرى مشابهة لسابقتها بين مدموك الطوب . وقد تستعمل مواسير حديدية بدلاً من المباني الطوب وتكون بأطوال ٦ قدم ، يتصل بعضها ببعض بأطواق داخلية ومسامير مقلوطة . بذلك يبقى السطح الخارجى أملس بما يسمح بالإنزال خلال التربة . يكون لهذه المواسير نهاية سفلية حادة ليسهل اختراقها للتربة . فى حالة عدم هبوط الماسورة يتم تحميلها بوضع طبلية على أربع كمـرات طولية من مقاس كبير وثمانية عرضية لتوزيع حمل الطبلية ثم تحمل للطبلية بأكياس للرمل لتفويص البئر أثناء الحفر لدخلها . أحياناً توضع فتحات جانبية فى دايـر البئر فى المباني السفلى بطول ١٠ أو ١٥ متر (Pigeon Holes) تكون مفتوحة للنصف طوبة الخارجية والتي تستمر فى جميع المحيط الخارجى . تبنى للنصف طوبة الخارجية بمونة أسمنتية خفيفة تساعد على مرور المياه فى العراميس حول البئر لتصل إلى الفتحات الموصلة إلى داخل البئر وفى هذه الحالة لا يقل سمك البئر عن طوبيتين أو طوبة ونصف . يلاحظ سد للفتحات من الداخل بقطع خشبية ملفوفة بقلقاط مقطرن يزال بعد الإنتهاء من تفويص البئر وإتمام العمل .

ولزيادة التصرف توضع مصافى أفقية عددها حوالى ١٢ قطر كل منها ٣-٤ بوصة فى دايـر البئر ومن أسفل لمسافات مناسبة لزيادة إيراد البئر . فى هذه الحالة يجب ألا يقل قطر البئر عن ٤ متر لإمكان استخدام جهاز ضغط المواسير والمعروف باسم (Ramney) . ويكون القاع أصم اعتماداً على المددات ذات المصافى . يبلغ إيراد الماء اليومي من بئر بقطر ٤ متر حوالى ٩٠ ألف متر مكعب . بعد إتمام نظافة للبئر توضع بدخله فرشاة زلطية (زلط فينو) لتحافظ على عدم نزح الأرضية مع المياه وعدم حدوث تصدعات للبئر .

الآبار ذات المواسير .

الآبار ذات المواسير تنشأ عادة بدق مواسير حديدية رأسياً من سطح الأرض ، وتستعمل أدوات تخريم خاصة مع إخراج للناتج إلى السطح .تغوص هذه الآبار إذا كانت بقطر صغير بالطاقة الناتجة عن سقوط ثقل من المواسير الموصلة رأسياً شكل (٦-٥) والتي أما أن تكون ذات نهاية صماء مدببة الطرف في حالة المواسير ذات الأقطار ٣ بوصة فأقل أو ذات قاطع مستدير ومجوف . وفي كلتا الحالتين الجزء الأسفل من المواسير على تقوب عديدة لإدخال الماء من الطبقة الحاملة . يجرى تغويص المواسير في الأرض بسقوط ثقل يرفع على حامل ثم يسقط على رأس الماسورة (المقلوطة) والتي في نهايتها العلوية طاقة لوقايتها من تأثير الدق . تستخدم مواسير من الصلب بوصلات مقلوطة بأطوال من ٦ قدم وقطر ٤ بوصة عادة . يتم إنزال الماسورة أولاً بالثق ثم تزال المواد من داخلها إلى المواسير ذات الأقطار أكبر من ٢ بوصة بواسطة أدوات خاصة بذلك والتي تتصل بقضبان مربعة من ١ - ٢ بوصة بواسطة القلاووظ وكذلك تستخدم هذه الأدوات لأقطار المواسير أكبر من ذلك . وبإزالة المواد من داخل الماسورة يمكن أخذ عينات من التربة وعينات من المياه على أعماق مختلفة ويكون لكل بئر سجل خاص (Well Log) . تكرر عملية الدق بعد تنظيف المواسير من الداخل . عند مصادفة المواسير ذات الطرف السفلى المدبب عند نزولها لتربة صلبة ، عندئذ يتم سحب الماسورة للخارج وإعادة دقها مع تكرار ذلك حتى يمكن تكسير الجزء للصلب وإنزال الماسورة في حالة الماسورة ذات الحرف السفلى للقاطع الأجوف يتم تكسير الأرض الصلبة بإنزال أدوات تكسير الصخر داخل الماسورة . تجهز أدوات للتنظيف في حالة التعامل مع الأرض المبتلة بصمامات قدم (FootValve) لمنع سقوط التربة منها عند رفعها لأعلى .

وتستخدم آلات على عربات متحركة مجهزة بصاري الذي يطوى أثناء سير العربة ، وفي موقع العمل يرفع لتعليق البكرة والحبال الخاصة بدق البئر والتي تصنع من أسلاك الصلب المجدول والذي يساعد على دوران الحبل دورة خفيفة في كل دقة بما يعمل على انحراف قطعة التكسير انحرافاً بسيطاً في نفس الاتجاه بما يعمل على

انتظام الحفر والتكسير .

يجب أن يكون اللؤلؤ رأسياً تماماً ولذى هو عبارة عن ماسورة قيسون تستعمل دليلاً لخط الحفر المدلى من صارى الماكينة .

ويبدأ تشغيل خط الحفر مع تغيير معدل للضربات فى الدقيقة وطول المشوار الذى يصله فى كل ضربة وذلك بالتحكم فى الذراع المتحرك لآلة الحفر . يتراوح عدد الضربات ما بين ٢٥ ، ٦٥ فى الدقيقة الواحدة تبعاً لنوع الطبقة التى يعمل فيها الكاسور. تستعمل عملية الدق وإطالة حبل الحفر ثم إزالة المواد المفككة وهكذا إلى أن يصل البئر إلى العمق المطلوب .

الآبار ذات القيسون.

يستخدم القيسون لتفويض الآبار وهو عبارة عن مواسير من الصلب بطول ٣-٥ متر ولها وصلات عبارة عن صلب مقلوطة وتكون بقطر يزيد ٤ بوصة عن القطر الخارجى لماسورة السحب . يتم تفويض القيسون رأسياً بطريقة التحميل والحفر داخله بأدوات حفر أو بطريقة الدق على طاقية خشبية تتركب على المواسير أثناء الدق والحفر داخلها .

يتم إنزال للقيسون بطريقة شائعة الاستعمال لبساطتها وهى أن يتم عمل حفرة ٢ × ٣ متر وبعمق ٢-٣ متر طبقاً لما يسمح به عمق مياه الرشح والطبقة الصلبة التى ستحمل الدكم والكمرات الحديدية وتثبيتها وتركيب القلاووظ قطر ٢ بوصة (الفتيل) وبواسطة الجلب والصواميل يمكن الضغط على القيسون للتفويض حتى ٤٠-٩٠ طن وكذا يمكن عكس الاتجاه للفتيل للرفع وذلك للضغط على الدكم العلوية لرفع القيسون وللحفر داخل القيسون بواسطة إنزال البلف (Shell) . البلف قطعة أسطوانية حافتها السفلى لولبية حادة وعند إنزالها تغرز فى التربة حيث تدخل داخلها المواد الطينية أو الرملية ، ويتكرر هذه العملية تملى الأسطوانة ثم ترفع لتنظيفها وتكرر العملية حتى يصل الجزء المحفور إلى منسوب حوالى ٥٠ سم تحت منسوب أسفل القيسون ، عندئذ يضغط على القيسون بالفتيل للقلاووظ ثم يتم تكرار هذه العملية حتى

يصل القيسون إلى العمق المطلوب .

ويراعى أخذ عينات من التربة أو للماء أثناء التفويض وذلك عند عمق كل متر أو عند التغير في التربة أو عند العثور على طبقة صخرية يستعمل الكاسور (Cross Chisel) للتكسير ثم تزال المواد بالبلف .

وتستعمل أحياناً طريقة التحميل بأكياس الرمل لمساعدة القلاووظ في ضغط القيسون . قبل رفع القيسون يتم إزال المصفاة ثم ماسورة السحب (الغير متقبة) ثم يتم البدء فى رفع القيسون بالرفع بضغط القلاووظ (عفريتة) . يتم ملئ الفراغ حول المصفاة بالظهير الزلطى للتنظيف والمعم . يلى ذلك إزال طبقة من الطين الأسوانلى لمنع مرور المياه السطحية إلى الظهير الزلطى . ومع سحب القيسون يملأ الفراغ حول ماسورة السحب بالمونة الأسمنتية لمنع مرور المياه للسطحية الملوثة .

ولحياناً تستعمل المثاقب للنفقة وهى أسرع وأقل فى التكاليف حيث تصل السرعة إلى ٢٠-٤٠ لفة فى الدقيقة طبقاً لنوع الصخر ولا يتجاوز الضغط على القاطع أكثر من ١/٢ طن.

ولزيادة الإيراد من المياه من الآبار يتم إنشاءها على خط عمودى على اتجاه سير المياه الجوفية .

الفصل السادس

هيدروليكا البئر الجوفى Well Hydraulics

١- مقارنة كمية بين المياه الجوفية و السطحية :

نظراً لأن المياه من المصادر المسطحية ترى بالعين فإنه من الطبيعي للجوء إليها عند الحاجة إلى المياه . فى الواقع فإن مياه المجارى والبحيرات العذبة على سطح الكرة الأرضية لا يزيد عن ٣% أما المياه الجوفية فإنها تشكل ٩٧% من إجمالى المياه العذبة على سطح الأرض . ولكن ليس كل المياه الجوفية يمكن سحبها من التربة الحاملة فبعضها يقع فى تكوينات صخرية عميقة بما يجعل تكلفة ضخها كبيرة وبعض أنواع التربة الحاملة تقاوم سحب المياه بدرجات مختلفة . ولذلك لا تحقق المقارنة للكمية بين المياه السطحية والجوفية مؤشر حقيقى للموارد المائية ، وإن كان يشير إلى حقيقة أن الموارد المائية الجوفية أكثر عدة مرات من الموارد السطحية المتاحة .

٢- مبادئ هيدرولوجية :

لتفهم المياه الجوفية وتواجدها يتطلب دراسة التوزيع الرأسى للمياه فى التكوينات الجيولوجية للتربة . القشرة الخارجية لسطح الأرض عادة متربة لدرجات كبيرة أو صغيرة وهذا الجزء يسمى منطقة تفتت الصخور . الثقوب أو الفتحات فى هذا الجزء قد تكون ممثلة بالماء كلياً أو جزئياً . الجزء العلوى حيث الفتحات ممثلة جزئياً بالماء تسمى منطقة التهوية . وأسفل هذا الجزء مباشرة حيث كل الفتحات ممثلة تماماً بالماء توجد منطقة للتشبع شكل (١-٦) .

مصادر المياه الجوفية إلى التربة هو بتسرب مياه الأمطار والسيول ومياه الأنهار والسترع والمصارف والبحيرات ومياه رى الأراضى للزراعية خلال مسام التربة إلى باطن الأرض حيث تمر المياه خلال منطقة التهوية إلى منطقة للتشبع ثم تستقر حركة المياه الرأسية عند وصولها طبقة من التربة غير مسامية وصماء ، عندئذ يتم حجز المياه . تعتبر المنطقة ما بين الطبقة للصماء ومنطقة للتهوية هى منطقة للخران الجوفى أو المياه الجوفية . وقد توجد المياه الجوفية بصورة أخرى فى منطقة أعلاها وأسفلها صماء حيث تغذى عن طريق تعرض أجزاء لهذه المنطقة لسطح

الأرض أو عن طريق اتصال هذه المنطقة بخزانات جوفية أخرى .

الماء فى منطقة التشبع هو الذى يسمى بالمياه الجوفية . تعتبر منطقة التشبع خزان طبيعى ضخم (أوعدة خزانات) طاقته هى حجم الفراغات فى التربة أو الفتحات فى الصخور الممتلئة بالمياه . وتوجد المياه الجوفية فى شكل كتل مائية متصلة أو عدة تجمعات مائية منفصلة . يتحدد سمك طبقة التشبع بالتكوين الجيولوجى للتربة وتوفر الفراغات والمسام وإعادة للملئ أو التغذية لطبقة التشبع وحركة المياه وانتقالها ما بين نقطة السحب للمياه (الآبار) ولماكن التغذية لطبقة التشبع والتى تسمى كذلك للتربة الحاملة للمياه (Water Bearing Formations) . تسمى طبقة التشبع كذلك بالخزان الجوفى (Aquifer) . السطح العلوى لطبقة التشبع يسمى خط المياه أو خط النطاق المائى (Water Table) وهو المستوى حيث تكون التربة أسفلها مشبعة بالمياه . يتحكم فى شكل خط المياه طبوغرافية الأرض .

توجد المياه فى مسام الطبقة المشبعة عند الضغط الجوى كما لو كانت فى خزان مفتوح . للضغط الهيدرولىكى عند أى مسافة أسفل خط المياه للتربة الحاملة للمياه الجوفية يساوى للمسافة من خط المياه فإذا كانت المسافة من خط المياه حتى ٥٠ متر فى التربة الحاملة أسفل خط المياه عندئذ تكون المياه الجوفية عند ضغط استاتيكي يساوى ٥٠ متر (٥ ضغط جوى) .

فى بعض الحالات تكون طبقة التشبع فى منسوب أعلا من خط المياه وذلك عند إعاقة طبقة صماء شكل (٢-٦) . خط المياه ليس ثابتاً ولكنه يتحرك من أن لآخر إلى أسفل أو إلى أعلا حيث يرتفع عند زيادة المياه للمضاافة لمنطقة التشبع بالرشح والتفافية وينخفض عند السحب للمياه بالآبار والعيون والمجارى المائية ... الخ . عند وجود طبقة التشبع بين طبقات صماء فوقها وأسفلها فإن المياه فى هذه الحالة تكون محتجزة ويسمى الخزان الجوفى بالخزان الحوفى المحصور (Confined Aquifer) والطبقة الحاملة المحصورة تكون غير معرضة للضغط الجوى والمياه عندئذ تكون معرضة لضغط أكبر من الضغط الجوى وتسمى المياه الارتوازية وتسمى طبقة التشبع بالطبقة

الارتوازية (Artizian Aquifer) شكل (٣-٦) .

٣- التربة الحاملة للمياه الجوفية أو الخزان الجوفى :

تقوم التربة الحاملة بوظيفتين هما التوصيل والتخزين فهي تعمل كخزان للمياه وكخط مواسير لنقل المياه . المياه الجوفية دائمة الحركة لمسافات تمتد من مناطق التغذية إلى مناطق السحب أو الصرف . حركة المياه الجوفية بطيئة جداً وتقاس سرعتها بالسنتيمتر فى اليوم أو بالمتر فى العام . سعة التخزين للتربة تتوقف على عاملين هما المسامية والتصرف النوعى للتربة (specific Field) . المسامية هى حجم الفراغات فى التربة وهى دلالة لكمية المياه التى تخزن فى منطقة التشبع . فعدد احتواء متر مكعب من التربة على ٠,٣ متر مكعب فراغات ومسام تكون المسامية فى هذه الحالة ٣٠% . المسامية لا تعطى دلالة على التصرف النوعى للمياه من التربة الحاملة . عند سحب المياه من تربة مشبعة فإن ما يتم الحصول عليه هو جزء فقط من المياه الموجودة فى المسام وكمية المياه المحتجزة بعد السحب تسمى فى هذه الحالة للحجز النوعى (Specific Retention) . يعبر عن كل من التصرف النوعى والحجز النوعى بنسبة مئوية أو كسر عشرى .

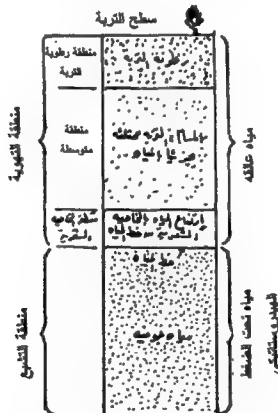
عند سحب ٠,١ متر مكعب ماء من ١ متر مكعب من التربة الرملية المشبعة فإن التصرف النوعى للرمال تكون ٠,١ أو ١٠% شكل (٦) . ويفرض أن مسامية التربة الرملية هى ٣٠% فإن الحجز النوعى يكون ٠,٢ أو ٢٠% .

خزان جوفى على مسافة ٤٠ كم^٢ ومتوسط سمك الخزان الجوفى ٤٠ متر . إجمالى حجم الخزان هو ١٠×١٦ م^٣ . وعندما تكون النفاذية ٢٥% فإن حجم المياه فى الخزان الجوفى يكون ١٠×٤ م^٣ . إذا كان معامل السحب هو ١٠% وحدث انخفاض فى منسوب المياه الجوفية لمسافة ٢ متر نتيجة للسحب من الخزان الجوفى بآبار جوفية . فإن حجم المياه التى تم سحبها يكون ١٠×٢ م^٣ . وهذه الكمية يمكن سحبها باستخدام ثلاث آبار طاقة كل بئر ٤٠ لتر فى الثانية لمدة ١٢ ساعة يومياً لمدة تزيد عن عام (٣٨٥ يوم) وذلك فى حالة عدم التغذية للخزان الجوفى . وهذا يوضح

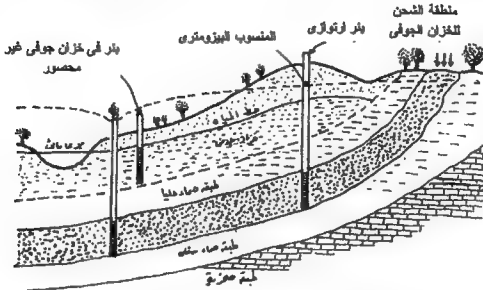
كيفية أن الخزان الجوفى يمكن استخدامه بمعدل ثابت وخاصة في حالة استخدام بئر واحد سوف تكفى هذه الكمية لمدة ثلاث سنوات ويكفى الخزان الجوفى لمدة ٤٠ سنة عند استخدام ٣ آبار ، ١٢٠ سنة عند استخدام بئر واحد . وفى الواقع فإن الخزان الجوفى يتم تغذيته في المصادر المختلفة كما سبق توضيحه .

٤- النفاذية : Permeability

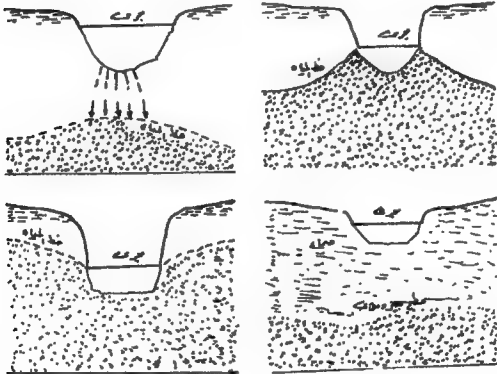
خاصية التربة الحاملة للمياه العالقة بدورها كخط مواسير لنقل المياه تسمى النفاذية وهي قدرة المجال المماسي في نقل المياه . تحدث حركة للمياه من نقطة إلى أخرى عندما يوجد فرق في الضغط الرأسى بين نقطتين . يمكن قياس النفاذية لمادة في المعمل بملاحظة انتقال المياه خلال عينة من الرمل في زمن محدد في ظروف فرق في الضغط الرأسى .



شكل (١-٦) هيدرولوجية المياه الجوفية



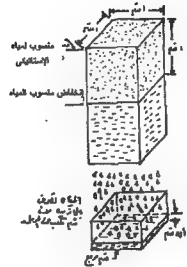
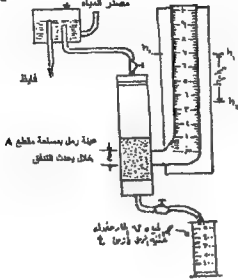
شكل (٦-٢) توزيع المياه أسفل سطح التربة



شكل (٦-٣) للتدخل بين المياه السطحية والجوفية

تقرير العمياء بنسوب

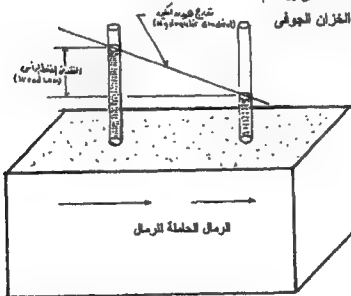
ثابت



شكل (٦-٥) جهاز القلابة (Perimeter)

شكل (٦-٤) الشكل الطبيعي للإنتاج

النوعى للرمال المقيمة هنا هي إن قدم مكعب/ قدم مكعب من الخزان الجوفى



شكل (٦-٦) تدرج هيدروليكي للفقد في الضغط

مقسوما على المسافة بين النقطتين

قاعدة دارسي (Darcy's law) ،

أوضحت قاعدة دارسي أن تدفق المياه خلال عمود من الرمل المشبع بالمياه شكل (٤-٦) ، (٥-٦) يتناسب طردياً مع الفرق في الضغط الهيدروليكي لكل من نهايتي العمود ويتناسب عكسياً مع طول العمود ومازالت هذه الطريقة تستعمل لتعيين تدفقات المياه الجوفية .

حجم التدفقات في قاعدة دارسي تكتب كالتالي :

$$Q = VA = PIA \quad (1)$$

حيث Q = معدل للتدفق في وحدة الزمن .

A = مساحة مقطع للتربة الذي تتحرك خلاله المياه .

V = سرعة المياه .

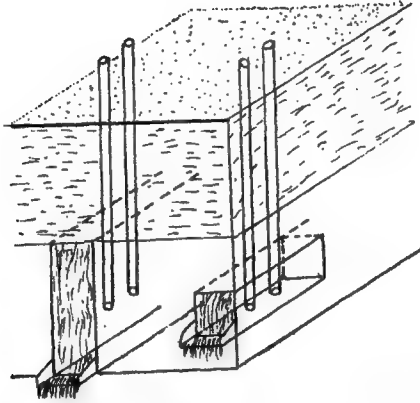
P = معامل النفاذية .

I = فرق للضغط .

ويتوقف معامل النفاذية لمسام التربة على حجم حبيبات التربة وتوزيعه في التربة الحاملة وعلى طبيعة وشكل الشقوق والمسام . معامل النفاذية هو كمية المياه التي تنتقل خلال وحدة المساحة من مقطع التربة المسامية في وحدة الزمن تحت فرق ضغط رأسي يساوي واحد وعند درجة حرارة معينة .

حساب التدفق الكلي ،

أوضحت معادلة دارسي أن معدل انتقال المياه في التربة الرملية المشبعة يتغير بفعل الضغط . عند مضاعفة فرق الضغط في تربة رملية بتضاعف معدل التدفق ، عند التدفق المنتظم والذي ما يكون عند السرعات البطيئة . ولكن في معظم الحالات يحدث التدفق الغير منتظم أو المضطرب عندئذ لا يزداد معدل التدفق أكثر من ١,٥ ضعف . فرق الضغط هو الميل لخط المياه أو الميل للسطح البيزومتري (Hydraulic Gradient) الذي عنده تحدث الحركة للمياه للجوفية شكل (٦-٦) .



شكل (٩-٧) مخطط لتصور معاملات النفاذية والانتقال . معامل النفاذية مضروباً في سمك الخزان الجوفي يساوي معامل الانتقال

في عام ١٩٣٥ قام العالم (Theis) بدمج العلاقة بين معامل النفاذية وسمك الطبقة الحاملة كمصطلح واحد لتقدير معدل التدفق .

$$q = PMI \quad (2)$$

حيث :

Q = التدفق خلال كل قدم من عرض الخزان الجوفي .

P = متوسط معامل النفاذية للتربة من أعلا إلى أسفل الخزان الجوفي .

M = سمك الخزان الجوفي بالتقدم .

I = فرق الضغط (للترج في الضغط الرأسى) .

ثم استخدم ثيمس (Theis) بضرب P في M لتوضيح قدرة الماء على الانتقال

(Water Transmittting) لكل سمك الخزان الجوفي . وقام بتعريف معامل الانتقال للماء

(T) لأى مقطع عمودى فى الخزان الجوفى بالمعادلة

$$Q = TIW \quad (٣)$$

حيث T = معامل الانتقال للماء (Coefficient Of Transmissivity)

I = فرق الضغط

W = عرض المقطع الذى يحدث التدفق خلاله شكل (٦-٧) .

يمكن تعيين معامل الانتقال فى المواقع من اختبارات ضخ البئر وبهذا الاختبار العملى أمكن التغلب على القيم التقديرية للمعامل النفاذية .

هيدروليكا البئر الجوفى :

البئر الجوفى منشأ هيدرولىكى وعند التصميم وللتفويض الجيد للبئر فإنه يوفر السحب الاقتصادى للمياه من التربة الحاملة للمياه . وذلك يتوقف على :

- المهارة فى تطبيق المبادئ الهيدروليكية عند تحليل دراسة البئر وكفاءة الطبقة الحاملة للمياه .

- المهارة فى الحفر وإنشاء البئر بما يحقق أقصى فائدة من الظروف الجيولوجية .

- اختيار مواد الإنشاء التى تتحمل لمدة طويلة .

طبيعة التدفق من التربة :

عند بدء الضخ فإن منسوب المياه القريب من البئر ينخفض . أقصى انخفاض يكون عند البئر . الانخفاض يقل كلما بعدنا عن البئر ، وعند مسافة ما توجد نقطة حيث منسوب المياه لا يتأثر . وهذه المسافة تختلف لمختلف الآبار . وتتغير كذلك لنفس البئر طبقاً لمعدل الضخ وزمن الضخ .

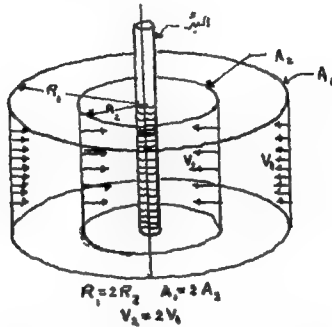
منسوب المياه فى البئر الجارى للسحب منه يكون أكثر انخفاضاً عن أى مكان فى التربة الحاملة المحيطة به ، لذلك فإن المياه تتحرك من التربة الحاملة إلى البئر لتعويض المياه التى تم سحبها عند الضخ من البئر . القوة أو الضغط الذى يدفع المياه نحو البئر هو فرق الضغط الرأسى ما بين منسوب المياه داخل البئر ومنسوب المياه

فى أى مكان خارج البئر .

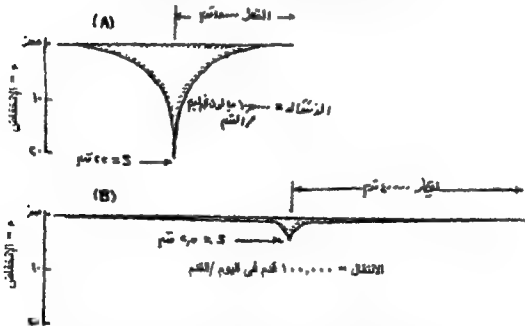
تتدفق المياه خلال التربة الحاملة للخران الجوفى من كل اتجاه نحو البئر . ومع تحرك المياه أقرب إلى البئر ، فإنها تتحرك خلال مقاطع اسطوانية متتالية والتي نقل ثم نقل مساحتها . ولذلك فإن سرعة المياه تزداد عند قربها من البئر ، فى الشكل (٦/٨) A_1 تمثل مساحة سطح اسطوانى ٤٠ متر بعيداً عن مركز البئر ، A_2 تمثل مساحة سطح مشابه على مسافة ٢٠ متر من مركز البئر ، يلاحظ أن A_1 ضعف A_2 . ولكن نفس كمية المياه هى التى تتحرك نحو البئر الجارى الضخ منه خلال المساحات A_1 و A_2 ولذلك فإن السرعة V_2 يجب أن تكون ضعف السرعة V_1 . ولقد أوضح قانون دارسى أنه عند التدفق خلال وسط مسامى فإن الفرق فى الضغط الهيدرولىكى يتناسب طردياً مع السرعة، مع زيادة السرعة فإن فرق الضغط يزداد ميله نحو البئر . وشكل هذا السطح يشبه شكل القمع والذى يعرف بقمع الانخفاض . عند ضخ المياه من أى بئر فإنه يحاط بمثل هذا القمع ، والذى يختلف فى الشكل والحجم طبقاً لمعدل الضخ ، وزمن استمرار الضخ وخاصة الخزان الجوفى وميل خط المياه والتغذية ، منطقة التأثير للبئر .

إقماع الانخفاض : (Cones Of Depression)

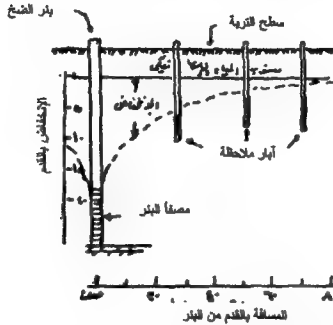
شكل (٩-٦) يوضح قمعى انخفاض حول بئر جارى الضخ منه الذى يوضح كيف أن معامل الانتقال للخران الجوفى يؤثر على شكل قمع الانخفاض . وفى التربة الحاملة ذات انتقال منخفض يكون القمع عميق وله قاعدة صغيرة وأجنابه تكون منحنية . ولكن فى التربة الحاملة ذات انتقال عالى فإن القمع يكون ضحل وله قاعدة كبيرة وأجنابه ذات ميل مستوية . كمية منسوب المياه أو الضغط السطحي تكون منخفضة فى قاعدة القمع وفى البئر نفسه وتسمى بالانخفاض عند هذه النقطة .



شكل (٦-٨) التفلق يتوجه نحو البئر حيث يمر خلال أسطح أسطوانية
فرضية والتي تصبح صغيرة كلما صغرت المسافة نحو البئر



شكل (٦-٩) تأثير اختلاف معاملات الانتقال على الشكل والعمق ومدى
حدود قمع الانخفاض (معدل الضخ والعوامل الأخرى ثابته في الحالتين)



شكل (٦-١٠) اختلاف الانخفاض طبقاً لمسافة من البئر

لشكل (٦-١٠) كيف أن الانخفاض يكون موزعاً في قمع الانخفاض على جانب واحد من البئر الجارى لضخ منه . المنحنى يوضح المستويات التي تكون عندها المياه في آبار الملاحظة على مسافات مختلفة من البئر الجارى لضخ منه . في خط المياه للخران الجوفى فإنه يوضح سطح المياه خلال الخزان الجوفى أثناء الضخ من البئر . للفرق بين سطح المياه الموضح على المنحنى وخط المياه الاستاتيكي هو الانخفاض عند أى نقطة . يعتبر الفقد في الضغط مصطلح أفضل لوصف الفرق في الضغط اللازم لحدوث معدل تدفق معين من نقطة إلى أخرى في الخزان الجوفى . وهو يمثل القوة اللازمة للتغلب على المقاومة والتدفق . الفقد في الضغط على منحنى منسوب المياه الجارى سحبها شكل (٦-١٠) يمثل للتغيرات في الانخفاض بين هذه النقاط.

يفرض أن البئر الجارى لضخ منه بمعدل ثابت ٢٠ لتر / الثانية . الانخفاض الكلى ٢٠ متر في البئر يكون هو فرق الضغط اللازم لدفع ٢٠ لتر/ الثانية خلال

الخزان الجوفى (من خلال منطقة التأثير للبئر) ثم إلى البئر . وعند مسافة ٢٠ متر من البئر يكون الانخفاض ٦ متر . يوضح هذا أن فرق الضغط ٦ متر لازمة لرفع ٢٠ لتر/ الثانية خلال التربة من الحد الخارجى لقمع الانخفاض خلال ٢٠ متر داخل البئر . ويتطلب كذلك فرق ضغط ٦ متر أخرى لدفع ٢٠ لتر/ الثانية من مسافة ٢٠ متر إلى حوالى ٥ متر من البئر. عند هذه النقطة يكون الانخفاض ١٥ متر . باقى الانخفاض الكلى أو فرق الضغط يستخدم لدفع المياه خلال آخر ٥ متر من للتربة وخلال مصفاة البئر .

وهذه الأرقام تبين زيادة الفقد فى الضغط لوحدة المسافة على مسار التدفق فى الخزان الجوفى نحو البئر .

تعريف المصطلحات :

المصطلحات الهامة المستخدمة فى دراسة هيدروليكا الآبار هى :

منسوب المياه الاستاتيكي : Static Water Level

منسوب المياه الاستاتيكي هو المنسوب للمياه فى البئر عندما لا يكون هناك سحب من البئر بالضخ أو بالتدفق الحر . ويعبر عنه عادة بالمسافة من سطح الأرض (أو من نقطة قياس قريبة من سطح الأرض) إلى منسوب المياه فى البئر . بالنسبة للبئر الذى يتدفق عند سطح الأرض ، فإن منسوب المياه الاستاتيكي يكون فوق سطح الأرض . ويقاس بعد إيقاف التدفق من البئر . المنسوب الاستاتيكي فى هذه الحالة يسمى أحياناً ضغط التوقف أو القفل .

منسوب الضخ ، Pumping Level

منسوب الضخ هو منسوب المياه فى البئر عندما يكون البئر جارى السحب منه (ضخه) . ويسمى منسوب الضخ كذلك بمنسوب المياه الديناميكي . فى حالة البئر المتدفق يكون المنسوب الذى تتدفق عنده للمياه .

الانخفاض ، Draw down

الانخفاض فى البئر يعنى حد الانخفاض لمنسوب المياه عند ضخ البئر أو عند صرف المياه من البئر المتدفق . الانخفاض هو الفرق المقاس بالمتر بين منسوب المياه الاستاتيكي ومنسوب ضخ البئر . وهذا يمثل فرق الضغط أو منسوب المياه بالمتر الذى يسبب تدفق المياه خلال الخزان الجوفى فى اتجاه البئر بمعدل معين .

الانخفاض المتبقى ، (Residual Draw Down)

بعد توقف الضخ فإن منسوب المياه يرتفع ويقترب من منسوب المياه الاستاتيكي قبل بدء الضخ . أثناء فترة الاستعادة هذه فإن مسافة منسوب المياه الذى يوجد أنلى منسوب المياه الاستاتيكي يسمى الانخفاض المتبقى .

إنتاجية البئر ، Well Yield

إنتاجية البئر هو حجم المياه فى وحدة الزمن التى تسحب من البئر سواء بالضخ أو بالتدفق الحر . وهى تقاس عادة بمعدل الضخ لتر فى الثانية . أو المتر المكعب فى الدقيقة.

الطاقة النوعية ، Specific Capacity

الطاقة النوعية للبئر هى تصرف البئر لوحدة الانخفاض وعادة يعبر عنها لتر فى الثانية للمتر من الانخفاض . بقسمة التصرف على الانخفاض مع قياس كل منهما نفس نفس الوقت يعطى قيمة للطاقة النوعية . فمثلاً إذا كان معدل الضخ ٤٠ لتر فى الثانية وأن الانخفاض كان ٥ متر فإن الطاقة النوعية للبئر تكون ٨ لتر / ث / متر من الانخفاض فى وقت أخذ القياسات .

للمصطلحات منسوب المياه الاستاتيكي ، منسوب المياه الديناميكي ، الانخفاض ، الانخفاض المتبقى تستخدم فى قياسات الآبار التى تعمل بالضخ أو لأى آبار مجاورة استخدمت كأبار ملاحظة .

نصف القطر المؤثر ، (Radius Of Influence)

نصف القطر المؤثر هو المسافة من مركز البئر حتى حد قمع الانخفاض . وهو أكبر لقمع الانخفاض الذي يحيط للبئر الارتوازي عن قمع الانخفاض حول بئر خط المياه .

معامل التخزين ، (Coefficient Of Storage (-S))

معامل التخزين لخزان جوفي هو حجم المياه التي تسحب من الخزان أو تدفع (تسحب) في الخزان لكل متر من سطح الخزان الجوفي لكل متر تغير في الضغط للرأسي.

في الخزانات الجوفية ذات خط المياه تكون قيمة (S) نتيجة تأثيرين مصطلحين هما انضغاط الخزان الجوفي وتمدد المياه به عند انخفاض الضغط أثناء الضخ . قيمة (S) للخزانات الجوفية مصطلح رقمي فقط .

معامل الانتقال ، (Coefficient Of Transmissivity (t))

معامل الانتقال لخزان جوفي هو معدل تدفق المياه خلال شريحة رأسية من الخزان الجوفي . باتساع واحد قدم وممتدة خلال كل السمك المشبع تحت ضغط هيدروليكي ١ أو ١٠٠% بشكل (٩) .

قيم معامل الانتقال تتراوح ما بين أقل من ١٠٠٠ إلى أكثر من مليون جالون في اليوم/ القدم . الخزان الجوفي ذو معامل لانتقال أقل من ١٠٠٠ يمكن أن يوفر المياه للأبار المنزلية وما شابه ذلك . بينما عندما يكون معامل الانتقال للخزان الجوفي في حدود عشرة آلاف أو أكثر فإنه ينتج مياه مناسبة للأغراض الصناعية والمنزلية والرى.

معاملات الانتقال والتخزين ذات أهمية خاصة لأنها تعرف الخصائص الهيدروليكية للتربة الحاملة للمياه الجوفية . معامل الانتقال يوضح كمية المياه التي تتحرك خلال التربة الحاملة ومعامل التخزين يوضح كمية المياه التي يمكن سحبها بالضخ أو الصرف . عند إمكانية تحديد هذين العاملين لخزان جوفي معين يمكن توفير

التوقعات المحتملة ، وبعضها هو :

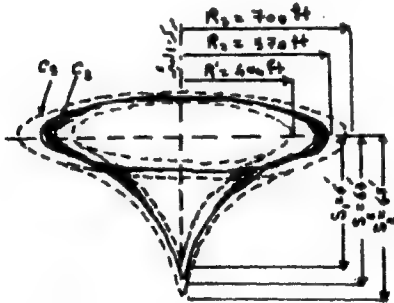
- الطاقة النوعية للآبار ذات الأقطار المختلفة .
- الانخفاض في الخزان الجوفي على مسافات مختلفة من البئر الجارى ضخه .
- الانخفاض في البئر فى أى وقت بعد بدء الضخ .

السحب من مخزون المياه ، Water Supplied From Storage

عند ضخ المياه من البئر فإن كمية المياه التى تسحب أولاً تكون من المخزون المائى الذى يحيط بالبئر مباشرة . ومع استمرار الضخ فإنه يتم سحب مياه أكثر من المخزون على مسافات بعيدة وأبعد من فتحة البئر . وهذا يعنى أن قمع الانخفاض يجب أن يمتد وذلك ليزداد نصف قطر التأثير . يزداد كذلك الانخفاض لتوفير فرق الضغط الإضافى اللازم لتحريك المياه من مسافات أبعد . يتمدد القمع ويزداد عمقه بمعدل متنقص مع الوقت ، ولكن مع زيادة التمدد الأفقى يتوفر كم أكبر من المياه للسحب أكثر من ذى قبل .

للشكل (١١-٦) يوضح كيف أن قمع الانخفاض يتمدد أثناء فترات متساوية من الوقت . نفترض أنه بعد ساعة واحدة قد يكون نصف قطر القمع ٤٠٠ قدم وعمقه ٦ قدم عند فتحة البئر . وفى نهاية الساعة الثانية تمدد القمع ١٧٠ قدم إضافى وزاد عمقه ٠,٣ قدم . الساعة الثالثة للضخ تحدث تمدد إضافى لنصف القطر ١٣٠ قدم وزيادة لعمق القمع ٠,٢ قدم . بحساب حجم كل قمع يوضح أن حجم القمع الثانى (C_2) ضعف حجم القمع الأول (C_1) وحجم القمع الثالث (C_3) ثلاث أضعاف حجم القمع الأول (C_1) يحدث ذلك لأن نفس الحجم من المياه يتم ضخه من البئر خلال كل ساعة . بعد عدة ساعات يلزم القياسات بدقة لمعرفة مدى زيادة عمق القمع (الانخفاض) أثناء فترات محددة من الضخ ، هذا يؤدي عادة إلى استنتاج أن القمع قد وصل إلى حالة ثبات مع استمرار الضخ . والحقيقة أن القمع يستمر فى الاتساع والعمق حتى تصل التغذية للخزان الجوفى لتكون مساوية للضخ . وتحدث التغذية فى وحدة أو أكثر من الحالات الآتية :

- ١ - يتمدد القمع حتى يتقاطع تماماً مع الصرف الطبيعي للخرزان الجوفى مساوياً لمعدل الضخ .
 - ٢ - يتمدد القمع حتى يتقاطع مع مصدر مياه سطحى حيث تدخل منه المياه إلى الخزان الجوفى مساوية لمعدل الضخ .
 - ٣ - يتمدد القمع حتى وجود تغذية عمودية خلال نصف القطر المؤثر مساوية لمعدل الضخ .
 - ٤ - يتمدد القمع حتى وجود تصرف كافى من التكوينات العليا أو السفلى مساوية لمعدل للضغط .
- عند توقف تمدد القمع لوحدة أو أكثر من الأسباب السابقة ، عندئذ توجد حالة الاتزان ، لا توجد زيادة فى الانخفاض مع زيادة زمن الضخ . فى بعض الآبار يحدث الاتزان خلال عدة ساعات قليلة بعد بدء الضخ . وفى البعض الآخر قد لا يحدث حتى مع امتداد زمن الضخ لعدة سنوات .



شكل (١١-٦) التغير فى قطر وعمق قمع الانخفاض بعد فترات متساوية من الوقت ، مع ثبات معدل الضخ

الفصل السابع

**حالات الاستقرار والتغير
في معدلات الضخ**

معادلات إنزان البئر : Equilibrium Well Formulas

معادلات تصريف البئر وإن كانت درست كثيراً إلا أنه يوجد معادلتين أساسيتين . أحدهما للحالات الارتوازية (Artisan) والثانية لحالات خط المياه (Water Table). كلا المعادلتين يفترض إعادة التغذية (Recharge) عند نهايات قمع الانخفاض . الشكل (٧-١) يوضح مقطع طولى لبئر منشأ في خزان جوفى مفتوح (له خط مياه) . معادلة الخزان بخط المياه هي :

$$(١) \quad Q = \frac{1.366 k(H^2 - h^2)}{\text{Log } R/r}$$

حيث :

Q = تصريف البئر أو معدل الضخ متر مكعب / اليوم

K = التوصيل الهيدروليكي للتربة الحاملة م^٣/ اليوم / م^٢ (متر/ يوم) .

H = المنسوب الاستاتيكي مقياس من قاع الخزان الجوفى بالمتر .

h = عمق المياه في البئر عند الضخ بالمتر .

R = نصف قطر قمع الانخفاض بالمتر .

r = نصف قطر البئر بالمتر .

الشكل (٧/٢) مقطع طولى لضخ البئر من خزان جوفى ارتوازي . المعادلة

للبيئر الذى يعمل تحت ظروف ارتوازية هي :

$$(٢) \quad Q = \frac{2.73 kb(H - h)}{\text{Log } R/r}$$

حيث :

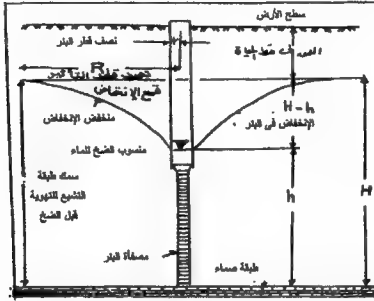
b = سمك الخزان الجوفى بالمتر .

باقي القياسات كما سبق .

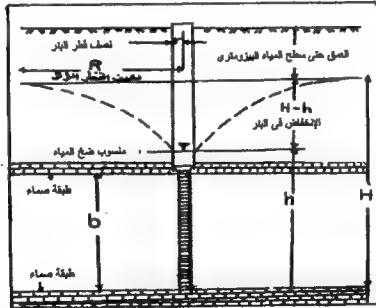
استنباط المعادلات السابقة بنى على للفرضيات المبسطة الآتية :

- التربة الحاملة ذات نفاذية واحدة خلال النصف قطر المؤثر للبئر .

- أن الخزان الجوفي متجانس وليس في شكل طبقات (Not Stratified)
- للخزان الجوفى المفتوح (بخط المياه) السمك المشبع ثابت قبل بدء الفتح وكذلك بالنسبة للخزان الجوفى الارتوازي يكون سمك الخزان الجوفى ثابت .



شكل (٧-١) بئر في خزان جوفى غير محصور يبين معنى المصطلحات في معادلة الإتران



شكل (٧-٢) بئر في خزان جوفى محصور يبين المصطلحات المستخدمة في معادلة الإتران

- كفاءة الضخ ١٠٠ % .
- البئر الجارى للضخ منه يخترق كل العمق للخران الجوفى .
- كلاً من خط المياه والسطح البيزومتري تكون أسطح أفقية .
- التدفق منتظم خلال نصف قطر التأثير للبئر .
- قمع الانخفاض وصل إلى الأتران حتى أن كلاً من الانخفاض ونصف قطر التأثير للبئر لا يحدث بهما تأثير مع استمرار الضخ بمعدل معين .
- قد تبدو هذه الفرضيات أنها تحد من استخدام هذه المعادلات . وفى الواقع فإنها لا تحد . فنادرأ ما توجد النفاذية المنتظمة فى خزان جوفى ، ولكن يتم بتحديد متوسط النفاذية من اختبارات ضخ البئر أفاد فى تقدير كفاءة البئر وهكذا بالنسبة لباقي الفرضيات .

تعيين النفاذية | التوصيل الهيدروليكي | للخران الجوفى .

يمكن استخدام معادلات اتران البئر لحساب التوصيل الهيدروليكي فى حالة معرفة H و Q و R من اختبار للضخ وتحديد b من لوغاريتم الحفر .
بالنسبة للخران الجوفى المفتوح لحساب النفاذية أو التوصيل الهيدروليكي K .

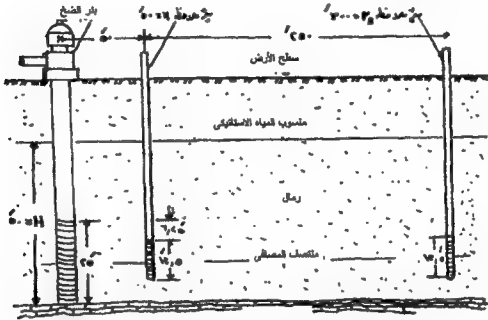
$$(٣) \quad k = \frac{Q \text{ Log } r_2 / r_1}{1.366 (h_2^2 - h_1^2)}$$

حيث :

- r_1 = المسافة لأقرب بئر ملاحظة بالمتر .
- r_2 = المسافة لأبعد بئر ملاحظة بالمتر .
- h_2 = سمك الطبقة المشبعة بالمتر عند أبعد بئر ملاحظة .
- h_1 = سمك الطبقة المشبعة عند أقرب بئر ملاحظة .
- باقي المصطلحات كما فى المعادلات السابقة .
- كل القيم على اليمين للمعادلة يمكن تعيينها من اختبار الضخ ، تعيين h_2 ، h_1 ،
يلزم لتعيين من بئر ملاحظة على مسافات r_1 ، r_2 من بئر للضخ . الشكل (٣-٧)

يوضح مقطع لاختبار الضخ في خزان جوفي غير محصور لتعيين التوصيل الهيدروليكي للسرية الحاملة. كل العوامل يمكن قياسها في هذا النوع من الاختبار وكذلك تعيين التوصيل الهيدروليكي بدقة .

بالنسبة للخزان المحصور (Confined) معادلة تعيين التوصيل الهيدروليكي من اختبار مشابه للكشل (٧-٣) هي :



شكل (٧-٣) نموذج لبئر ضخ وآبار الملاحظة للحصول على بيانات حقلية اللازمة لحساب معامل التخلفية من معدلات إنتاج البئر

$$(٤) \quad k = \frac{Q \text{Log } r_2 / r_1}{2.75 \cdot 3(h_2 - h_1)b}$$

حيث :

b = سمك الخزان الجوفي بالمتر .

h_2 = الضغط بالمتر عند أبعد بئر ملاحظة مقاس من قاع الخزان الجوفي .

h_1 = الضغط بالمتر عند أقرب بئر ملاحظة مقاس من قاع الخزان الجوفي .

بالإضافة لتفسير وسائل دقيقة لحساب متوسط التوصيل الهيدروليكي للخزان

الجوفي ، فإن معادلات لقرن البئر تفيد في دراسة مختلف علاقات العوامل ببعضها وإنتاجية البئر . حيث في حالة ثبات كل العوامل فإن الإنتاجية تزداد بزيادة التوصيل

الهيدروليكي فالخزان الجوفي ذو ضعف توصيل هيدروليكي تكون إنتاجيته ضعف الآخر . بالنسبة للخزان الجوفي المحصور المعادلة ($Q = \frac{2.75 kb (H - h)}{\text{Log } R/r}$)
توضح أن الإنتاجية تتناسب مع سمك الطبقة الحاملة عند تساوى كل العوامل الأخرى .

علاقة قطر البئر بالإنتاجية :

كيف أن قطر البئر يؤثر على الإنتاجية ؟ . البعض يفترض أنه بمضاعفة قطر البئر تضاعف الإنتاجية وهذا بعيد عن الحقيقة . فعند تساوى العوامل الأخرى فإن المعادلة $Q = \frac{1.366K(H^2 - h^2)}{\text{Log } R/r}$ توضح أن Q تتغير مع تغير $K/\text{Log } R/r$ حيث K تمثل كل العوامل الثابتة .

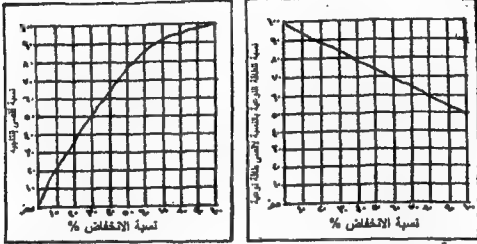
علاقة الانخفاض بالإنتاجية : (Relation Of Drawdown To Yield)

المعادلة $Q = \frac{2.73kb(H - h)}{\text{Log } R/r}$ للبئر المحصور (Confined) توضح أن التصرف يتناسب طردياً مع الانخفاض (H-h) ، طالما أن الانخفاض لا يزيد عن المسافة من السطح البيزومتري الاستاتيكي حتى قمة الخزان الجوفي . في حالة زيادة الانخفاض عن هذه الكمية ، عندئذ فإن b سوف تنخفض وأن النسبة لا تكون صحيحة . نظرياً هذا يعنى أنه كلما تضاعف الانخفاض تضاعفت الإنتاجية ، بمعنى آخر الطاقة النوعية للبئر (Specific Capacity) تظل ثابتة عند أى معدل ضخ طالما أنه لا يحدث سحب جوفي من الخزان الجوفي .

بالنسبة للبئر فى الخزان الجوفي الغير محصور ، فإن الحيز من للتكوينات الحاملة خلال قمع الانخفاض يكون خالي من الماء (Dewatered) أثناء الضخ . وذلك يؤثر على العلاقة بين الانخفاض والإنتاجية . عند مضاعفة الانخفاض فإن إنتاجية البئر تكون أقل من الضعف نظراً لانخفاض السمك المشبع من التربة الحاملة . الطاقة النوعية تنخفض بزيادة الانخفاض ، فى الواقع فإنها تنخفض بنسبة الانخفاض .

الشكل (٤-٧) يوضح العلاقة بين الانخفاض والإنتاجية للبئر المفتوح . أقصى انخفاض يعنى خفض منسوب المياه إلى قاع البئر ، ٥٠% انخفاض يعنى خفض منسوب المياه إلى نقطة فى المنتصف بين منسوب المياه الاستاتيكي وقاع البئر . فمثلاً بئر بعمق ٤٠ قدم (١٢,٢ متر) وعمق للمياه الاستاتيكي ٥ قدم (١,٥ متر) وسمك الطبقة المشبعة ٣٥ قدم (١٠,٧ متر) . عند الاختبارات كان الضخ بمعدل ٨٧ م^٣ أي (١٦ جالون/ق) ومنسوب الضخ عند ٤,٦ متر (١٥ قدم) أسفل سطح الأرض أ ، عند انخفاض ٣ متر (١٠ قدم) كم ستكون الإنتاجية عند انخفاض ٦,١ متر (٢٠ قدم) ومنسوب الضخ عند ٢٥ قدم (٧,٦ متر) .

فى هذه الحالة فإن الانخفاض بنسبة ١٠٠% هو ٣٥ قدم ، ١٠ قدم انخفاض أثناء الاختبار يكون عندئذ ٢٩% من إجمالى الانخفاض الكلى . المنحنى فى الشكل (٤-٧) يوضح أنه عند انخفاض ٢٩% فإن الإنتاجية تكون ٥٠% من أقصى إنتاجية وبهذا يكون ١٦ جالون فى الدقيقة ٥٠% من أقصى إنتاجية البئر . انخفاض ٢٠ قدم يوفر ٥٧% من أقصى إنتاجية . انخفاض ٢٠ قدم يمثل ٥٧% من إجمالى الانخفاض ومن المنحنى فإن الانخفاض فى هذه الحالة سوف يوفر ٨٢% من أقصى إنتاجية . إذا كان ١٦ جالون فى الدقيقة هو ٥٠% من أقصى إنتاجية ، عندئذ ٨٢% من أقصى إنتاجية ستكون ٢٦-١٦×٥٠×٨٢ جالون فى الدقيقة (٤٢ متر مكعب فى اليوم) . البئر يتوقع أن ينتج ٢٦ جالون فى الدقيقة عند انخفاض ٢٦ قدم .



شكل (٧-٤) مقارنة الإنتاجية بالانخفاض
البئر مثلي غير محصور تلم الاختراق
ومفتوح للبئر

شكل (٧-٥) العلاقة بين الطاقة النوعية
والانخفاض في خزان غير محصور تلم
الاختراق ومفتوح للبرية الحاملة للماء

للمنحنى (٧-٥) يوضح أن الطاقة النوعية تختلف بالنسبة للانخفاض . نظريا أقصى طاقة نوعية عند انخفاض صفر نظرا لعدم النقص في السمك المشبع . وأدنى طاقة نوعية عندما يكون الانخفاض والإنتاجية عند أقصىهما . يلاحظ أن أدنى طاقة نوعية هي ٥٠% من أقصىها . في المثال السابق ٨٥% من أقصى طاقة نوعية تتحقق عند انخفاض ١٠ قدم و ٧١% عند انخفاض ٢٠ قدم . الشكل (٧-٤) يوضح لماذا أنه غير اقتصادي يكون تشغيل البئر مع انخفاض أكبر من ٦٧% من أقصى انخفاض . ذلك لأنه عند انخفاض ٦٧% من أقصى انخفاض يمكن إنتاج ٩٠% من أقصى إنتاجية . وللحصول على باقى ١٠% يتطلب خفض إضافي ٣٣% وذلك يلزمه تكاليف ضخ بما لا يتناسب مع زيادة الإنتاجية .

معادلة عدم إيزان البئر : (Non Equilibrium Well Equation)

أعد العالم (Theis) معادلة عدم إيزان البئر عام ١٩٣٥، وكانت هذه المعادلة أول من أدخل زمن الضخ على الإنتاجية للبئر وكان هذا تقما كبيرا في هيدروليكا المياه الجوفية . باستخدام هذه المعادلة يمكن تقدير الانخفاض في أى وقت بعد بدء الضخ . قدرة الانتقال (Transmissivity) ومتوسط التوصيل الهيدروليكي (Hydraulic

(Conductivity) يمكن تحديدهم في المراحل الأولى لإختبارات الضخ وليس بعد ثبات منسوب المياه في آبار الملاحظة . معاملات الخزان الجوفى يمكن تحديدهم من قياسات الإنخفاض مع الوقت فى بئر ملاحظة واحد وليس من بئرين ملاحظة كما هو المطلوب فى المعادلات ٦ ، ٧ .

بنيت معادلة (Theis) على الفرضيات التالية :

- تجانس للتربة الحاملة للمياه والتوصيل الهيدروليكي واحد فى كل الإتجاهات .
 - سمك الطبقة الحاملة واحد وممتد إلى مساحة لا نهائية .
 - لا يتم التغذية للخزان الجوفى من أى مصدر .
 - البئر الجارى الضخ منه يخرق ويستقبل مياه من كل سمك للطبقة الحاملة للمياه .
 - بئر الضخ كفاءته ١٠٠ % .
 - كل المياه المسحوبة من البئر تأتى من المخزون فى الخزان الجوفى .
 - تدفق المياه منتظم خلال البئر والخزان الجوفى .
 - خط المياه ليس به ميول .
 - يتزامن صرف المياه من البئر مع إنخفاض الضغط الرأسى .
- هذه الفرضيات هى أساسا مثل حالة معادلة الإتران عدا أن منسوب المياه فى قمع الإنخفاض لم يصل إلى مرحلة الإتران .
- فى أبسط صورها معادلة ثيس (Theis) هى

$$(٨) \quad S = \frac{1}{4\Pi} \frac{Q}{T} W(u) = \frac{1}{4\Pi} \frac{Q}{T} W(U)$$

حيث :

S = الإنخفاض بالمتر عند أى نقطة قريبة من البئر الجارى السحب منه بمعدل ثابت .

Q = معدل الضخ بالمتر المكعب فى اليوم .

T = معامل الإنتقال للخزان الجوفى متر مربع فى اليوم .

$W(u)$ = دلالة البئر بالمعامل (u) .

$$(٩) \quad u = \frac{r^2 s}{4 T t}$$

حيث :

r = المسافة بالمتر من منتصف البئر الجارى ضخه إلى النقطة حيث يتم قياس الإنخفاض .

S = معامل التخزين .

T = معامل الانتقال (السرمان) م^٢/يوم .

t = زمن الضخ منذ بدء الضخ بالأيام .

دلالة البئر (u) [W(u)] كمصطلح يشابه توزيع الحرارة في سطح مستوى علما يتم التسخين في المنتصف . وقد عرف العالم ثيس أن هذه الظاهرة يمكن تطبيقها في التوزيع المنتظم للضغط الرأسى (Head) للمياه الجوفية حول البئر الجارى ضخه رغم أن المياه تتدفق نحو البئر وليس بعيداً عنه .

تحليل بيانات إختبارات الضخ باستخدام معادلة ثيس وجد بها مصاعب في الحسابات . وقد تم تطويرها فيما بعد . وتم تبني الطريقة المطورة .

معادلة عدم الإتران للمطورة :

أثناء استخدام معادلة ثيس قام العالمان كوبر وجاكوب عام ١٩٤٦ بتوضيح أنه عندما يكون المعامل u صغيراً يمكن تطوير معادلة عدم الإتران إلى الشكل الآتى بدون خطأ كبير .

$$(١٠) \quad S = \frac{0.183 Q}{T} \text{Log} \frac{2.25 T t}{r^2 S}$$

وهذه الرموز هي نفسها في المعادلات ٨ ، ٩ .

عندما تكون قيمة (u) أقل من ٠,٠٥ فإن المعادلة رقم ١٠ تعطى نفس نتائج المعادلة رقم ٩ . قيمة u تقل عند زيادة t وصغر r ولهذا فإن المعادلة ١٠ تصبح

مناسبة للتطبيق عندما تزداد قيمة t وتتناقص قيمة r . للمعادلة رقم ١٠ تشابه معادلة ثيس عدا أن قيمة u استبدلت بقيمة لوغاريتمية بما يجعل من السهل العمل بها من الناحية التطبيقية لهيدروليكا البئر .

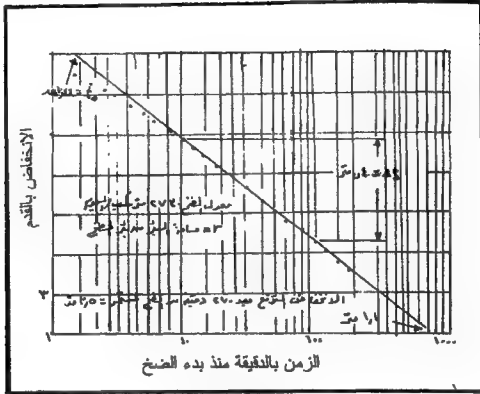
فى حالة معينة عند ثبات معدل الضخ ، Q, T, S كلهم ثابتين . فإن المعادلة ١٠ توضح أن الإنخفاض (S) يتغير مع t/r^2 \log عندما تكون قيمة u أقل من ٠,٠٥ . من هذه العلاقة يمكن تحديد علاقتين هامتين .

— بالنسبة لخزلات جوفى معين عند أى نقطة (r ثابتة) قيمة r, S هما المتغيران فقط فى المعادلة ١٠ . لهذا فإن قيمة S تتغير مع تغير قيمة $C_1 t$ \log ، حيث C_1 تمثل كل الثوابت فى المعادلة .

— بالنسبة لتكوينات (تربة) معينة وعند قيمة معينة لـ t فإن قيم S (الهبوط) و r هما المتغيران فى المعادلة ١٠ . فى هذه الحالة تتغير قيمة S (الهبوط) مع تغير $\log C_2 / r^2$ حيث C_2 تمثل كل الثوابت فى المعادلة بما فيها القيمة المحددة لـ t .

بإستخدام هذه العلاقة المبسطة المبينة على المعادلة ١٠ ، يمكن إستخلاص معلومات عن الخصائص الهيدروليكية للخزان الجوفى برسم بيانى للإنخفاض وبيانات الوقت أثناء إختبار الضخ . للبيانات موقعة على ورق شبه لوغاريتمية (Semilogarithmic) كما هو موضح فى الشكل (٦-٧) . عند توقيع الزمن t فى الرأسى على المقياس اللوغاريتمى والإنخفاض (S) على الأفقى على المقياس الرياضى . الشكل (٦-٧) يوضح البيانات من الجدول (١-٧) موقع حيث كل النقط تقع على خط مستقيم .

كل النقط عدا الممثلة للقياسات عند العشرة دقائق الأولى للضخ تتطابق مع الخط . عند العشرة دقائق الأولى قيمة (u) أكبر من ٠,٠٥ وهذا يجعل المعادلة المطورة لعدم الإتران لا تنطبق فى مجال الإختبار هذا .



شكل (٧-٦) عند توقيع البيانات من الجدول (٧-١) على ورق مخطط شبه لوغاريتمي - فإن معطى النقاط تقع على خط مستقيم

جدول (٧-١) قياسات الإنخفاض في بئر ملاحظة على مسافة ٤٠٠ قدم (١١٢ متر من بئر الضخ)

الزمن منذ بدء الضخ بالدقيقة		الانخفاض		الزمن منذ بدء الضخ بالدقيقة	
قدم	متر	قدم	متر	قدم	متر
١	٠,١٦	٠,٠٥	٢٤	١,٥٨	٠,١
١,٥	٠,٢٧	٠,٠٨	٣٠	١,٧	٠,٥
٢	٠,٣٨	٠,١٢	٤٠	١,٨٨	٠,١
٢,٥	٠,٤٦	٠,١٤	٥٠	٥٧	٠,٥٧
٣	٠,٥٣	٠,١٦	٦٠		
٤	٠,٦٧	٠,٢٠	٨٠		

الزمن منذ بدء الضخ بال دقيقة		الزمن منذ بدء الضخ بال دقيقة		الزمن منذ بدء الضخ بال دقيقة	
قدم	متر	قدم	متر	قدم	متر
٢,٠	٠,٦	٠,٧٧	٠,٢٣	٥	
	١	٠,٨٧	٠,٢٧	٦	
٢,١١	٠,٠	٠,٩٩	٠,٣٠	٨	
	٦٤	١,١٢	٠,٣٤	١٠	
٢,٢٤	٠,٠	١,٢١	٠,٣٧	١٢	
	٦٨	١,٣٠	٠,٤٠	١٤	
٢,٣٨	٠,٠	١,٤٣	٠,٤٤	١٨	
	٧٣				
٢,٤٩	٠,٠				
	٧٦				
٢,٦٢	٠,٨				
٢,٧٢	٠,٠				
	٨٣				
٢,٨١	٠,٠				
	٨٦				
٢,٨٨					
٠,٨٨					

الانتقال (Transmissivity):

معامل الانتقال (السريان) يتم حسابه من معدل الضخ ومن منحني الوقت —
الإنخفاض وذلك باستخدام العلاقة التالية المنبثقة من المعادلة رقم ١٠ .

$$(١١) \quad T = \frac{23}{4\pi} \frac{Q}{\Delta S} = \frac{0.183Q}{\Delta S}$$

حيث:

$$Q = \text{معدل الضخ م}^3/\text{ى}$$

$$T = \text{معامل الانتقال م}^3/\text{ى}$$

ΔS = مقدار (دلتا) ميل الوقت - الإنخفاض ويعبر عنه بالإنخفاض بين وقتين على المنحنى اللوغاريتمى .

مثال : دلتا S (ΔS) ٠,٤ متر والتي هي للتغير فى الإنخفاض بين ١٠ اق ، ١٠٠

ق بعد بدء إختبار الضخ و $Q = ٢٧٣٠ \text{ م}^3/\text{ى}$

$$T = \frac{0.183}{0.4} \times 2730$$

$$= 1249 \text{ m}_2/\text{day}$$

معامل التخزين: (Coefficient Of Storage)

معامل التخزين مستتبك كذلك من المعادلة رقم ١٠ ومن منحنى الوقت - الإنخفاض وذلك بإستخدام الإنخفاض صفر متقاطعاً مع الخط المستقيم كأحد مكونات المعادلة . المعادلة هي كالتى :

$$(١٢) \quad S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

حيث :

$$S = \text{معامل التخزين}$$

$$T = \text{معامل الانتقال م}^3/\text{ى}$$

t_0 = تقاطع الخط المستقيم عند إنخفاض صفر فى اليوم .

r = المسافة بالمتر من البئر الجارى ضخه إلى بئر الملاحظة حيث يتم عمل القياسات .

فى المثال السابق : $t_0 = ١,٤٤$ دقيقة أو ٠,٠٠١ يوم ،

$$T = ١٢٧٠ \text{ م}^3/\text{ى}$$

$$S = \frac{0.25 \times 1250 \times 0.001}{(122)^2} \therefore$$

$$= 1.9 \times 10^{-4}$$

البيانات المستخدمة في هذا المثال هي من بئر ملاحظة على مسافة ١٢٢ متر من بئر الإنتاج حيث معدل الضخ $2730 \text{ م}^3/\text{أى}$ لمدة ٢٤٠ دقيقة . في حالة أخذ القياسات من بئر ملاحظة آخر بعيداً عن بئر الإنتاج وفي حالة توقيع البيانات على الشكل (٧-٦) فإن للنقط تقع على خط مستقيم موازى للخط السابق ولكن تقع فوقه . وفي حالة أخذ القياسات من بئر ملاحظة أقرب إلى بئر الإنتاج أو في بئر الإنتاج نفسه وتوقعها على الشكل (٧-٦) فإنها تقع في خط مستقيم موازى وأسفل للخط الموضح . قيم STO التى تم حسابها من كل الثلاث مجموعة بيانات تكون هي نفسها . وعموماً فإن معاملي التخزين الذى يتم حسابه من بيانات الإنخفاض في بئر الإنتاج لا يعتمد عليها ١٠٠% .

تقدير الإنخفاض من شكل الوقت . الإنخفاض :

بالإضافة إلى استخدام هذا الشكل في حساب ثوابت الخزان الجوفى (Constants) فإنه يوفر وسائل لتقدير الإنخفاض المستقبلى . الخط المستقيم في الشكل يمكن إمتداده إلى اليمين لتعيين الإنخفاض الذى سيحدث في بئر الملاحظة (١٢٢ متر من بئر الإنتاج) بعد أى فترة زمنية من ثبات واستمرار معدل الضخ ($2730 \text{ م}^3/\text{أى}$) . في هذا المثال الإنخفاض المتوقع بعد ١٢ ساعة (٧٢٠ دقيقة) من الضخ المستمر هو النقطة حيث يتقاطع الخط الممتد مع الخط العمودى الذى يمثل ٧٢٠ دقيقة . من الشكل قيمة $t = 720$ دقيقة ، وقيمة S (الإنخفاض بالمتر) = ١,١ متر (٣,٥ قدم) . الإنخفاض بعد ١٢٠ ساعة (٧٢٠٠ دقيقة) يقدر بإضافة AS (١,٣ قدم) . ٠,٤ متر تضاف إلى الإنخفاض عند ١٢ ساعة (٧٢٠) . يلاحظ أن ١٢٠ ساعة عشرة أضعاف ١٢ ساعة أو دورة لوغاريتمية من الوقت تلى ١٢ ساعة . ويمكن تعريف AS بأنها للزيادة في الإنخفاض بعد دورة لوغاريتمية من الوقت (One Log Cycle) . لذلك بعد ٥ أيام (١٢٠ ساعة) من استمرار الضخ بمعدل $2730 \text{ م}^3/\text{اليوم}$ الإنخفاض (S) عند ١٢٢ متر من بئر الإنتاج سيكون ١,١ متر + ٠,٤ متر = ١,٥ متر . يلاحظ مدى الإستفادة بهذه الطريقة .

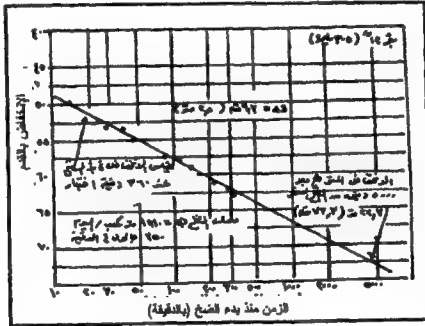
فيمجرد عمل منحنى الإنخفاض — الوقت من إختبار الضخ لفترة قصيرة ، يمكن إمتداد الخط المستقيم لإيجاد الإنخفاض للمتوقع بعد فترة ضخ طويلة بنفس معدل الضخ . بالنسبة للخران الجوفى المحصور يفضل الضخ لمدة ٢٤ ساعة متصلة للحصول على بيان الإنخفاض — الوقت . البئر الغير محصور يتم ضخه لمدة ٣ أيام . لبئر معين المعادلة ١٠ توضح أنه عندما تكون t ثابتة فإن الإنخفاض يتناسب طرديا مع معدل التدفق . وكذلك عند مضاعفة معدل الضخ فإن الإنخفاض يتضاعف . يمكن الإستفادة من هذه العلاقة ، وذلك بتطبيق بيانات الإختبار من بئر ملاحظة أو أكثر لتقدير الإنخفاض بدقة في آبار الملاحظة عند معدلات ضخ مختلفة عن معدلات الإختبار .

الظروف الجيولوجية التى تؤثر على مخطط الإنخفاض الوقت :

الفرضية بأن الخزان الجوفى لا يستقبل مياه لإعادة الشحن أثناء الضخ هي أحد ستة أساسيات مبني عليها معدلات عدم الإتران . ولهذا فإن المفروض أن كل المياه التى تم ضخها من البئر تم سحبها من المياه المخزنة في الخزان الجوفى . وهذا الوضع يجب حدوثه نظراً لأنه عند إستمرار الضخ فإن الإنخفاض يزداد وجمع الإنخفاض يتمدد . وهذه الفرضية الأساسية تمكن من حساب الإنتقال (T) من بيانات الإنخفاض — الوقت بإستخدام المعادلة رقم (١١) . مع إفتراض عدم الشحن أثناء الضخ يسمح كذلك بامتداد منحنى الإنخفاض — الوقت لتقدير الإنخفاض في التوقيتات المستقبلية . من المعروف أن معظم تكوينات التربة تستقبل إعادة الشحن وهذا الشحن إما أن يكون مستمر أو متقطع . عندما يكون الشحن متقطع بسبب التأثيرات الموسمية ، فإن الخزان الجوفى قد لا تحدث له التغذية لفترات من شهر إلى ثلاثة أشهر أو أكثر . منسوب المياه يمكن أن يستعيد تماماً خلال عام واحد من المساحة التى تستقبل تسريبات طبيعية . لذلك فإن منحنيات الإنخفاض — الوقت الموضحة هنا تمثل كفاءة البئر أثناء توقيعات عدم الشحن أو التغذية . في حالة عدم إختبار الضخ يحرص عند وصول

الستغذية إلى الخزان الجوفى ، فإن شكل الإنخفاض — الوقت من إختبار الضخ سوف يعكس الشحن أو للتغذية .

الشكل (٧-٧) يوضح الإنخفاض — المنحنى لبئر إنتاج يعمل تحت ظروف عدم الشحن . معدل الضخ ١٩١٠ م^٣/ى ولأخذت قياسات الإنخفاض على فترات عند الضخ لمدة ٣٦٠ دقيقة . للنقط الواقعة على الشكل الشبه لوغاريتمى توضيح خط مستقيم مع ميل قيمة ΔS ٢,٨ متر (٩,٣ قدم) . الإنخفاض الذى سيحدث لهذا البئر لأى فترة زمنية من الضخ المستمر بمعدل ١٩١٠ م^٣/ى (٣٦٠ جالون /ق) يمكن تقديرها بسرعة وذلك بامتداد الخط المستقيم . الإنخفاض المقابل لضخ مستمر لمدة ٥٠٠٠ دقيقة هو ٢٢,٤ متر (٧٣,٣ قدم) .

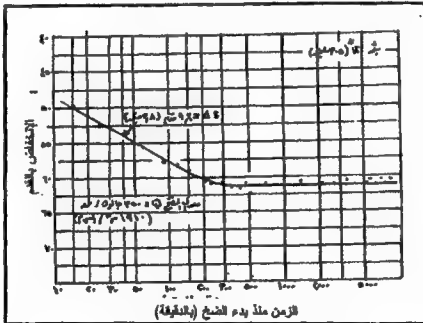


شكل (٧-٧) مخطط الزمن — الإنخفاض لبئر الضخ (بدون إعادة شحن الخزان الجوفى) يمكن إمتداد للنقطة بالإنخفاض لزمن من الضخ المستمر أطول من الإختبار نفسه .

هذه الطريقة بسهولة منسوب الضخ وموقع الطلبة لتوفير غمرها بالمياه . كما يمكن إضافة أى معامل أمان بالإضافة إلى منسوب الضخ لمواجهة للتغيرات المفاجئة فى كفاءة البئر نتيجة للترسيبات أو لإحتمال إقامة آبار مجاورة فيما بعد .

الضخ المستمر يعنى الضخ لمدة ٢٤ ساعة يومياً بدون إعطاء فرصة للإستعادة منسوب المياه . البئر الذى يعمل جزء من اليوم فقط سوف لا يظهر الإنخفاض التراكمى حتى بعد ٧ أو ٣٠ أو ٩٠ يوم مثل الذى يوضحه المخطط الخاص بالإنخفاض - الوقت شكل (٧-٧) . طبيعى أن البئر الذى يعمل لمدة ١٢ ساعة ثم يتوقف ١٢ ساعة سوف يستعيد منسوب المياه خلال فترة التوقف . فى حالة عدم كفاية التغذية عند توقف الضخ سوف لا يعود منسوب المياه إلى ما كان عليه . وعند إستئناف الضخ فإن الإنخفاض يبدأ من منسوب جديد أسفل المنسوب الذى بدئ الضخ عنده .

يستقر الإنخفاض عندما يكون للشحن خلال منطقة التأثير لبئر الإنتاج مساوى لإنتاج البئر . لا يحدث إنخفاض لمنسوب مع إستمرار الضخ بمعدل ثابت . عندئذ يكون مخطط المنحنى ، - الوقت أفقى ، كما فى الشكل (٧-٨) .



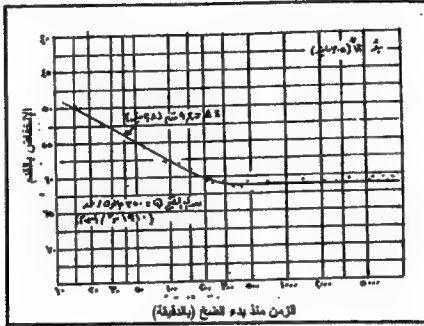
شكل (٧-٨) عند إعادة الشحن للخرزان الجوفى خلال منطقة التأثير للبئر ، فإن منحنى الوقت - الإنخفاض يقترب إلى الإستقامة . الخط المستقيم يمثل تساوى المسحب مع الشحن بعد ٢٤٠ دقيقة من الضخ .

الجزء الأول من المنحنى فى الشكل (٧-٨) توضح أن قمع الإنخفاض كان

يتسع أثناء فترة الضخ الأولى لمدة ٢٤٠ دقيقة . بعد ٢٤٠ ق فإن قمع الإنخفاض أو مساحة التأثير للبئر شملت مصدر التغذية . فى الجزء الثانى من المنحنى معدل التغذية فى منطقة التأثير كان كافياً ليتساوى مع معدل الضخ بما ينتج عنه ثبات مناسب للمياه خلال منطقة التأثير . التغذية تحدث عادةً خلال فترة زمنية وليست فورية . للتغذية يمكن أن تكون من بحيرة أو نهر فى جزء فقط من قمع الإنخفاض . بعد إحتواء حدود التغذية ، يزداد الإنخفاض ببطء فى المساحات البعيدة عن مصدر التغذية حتى حدوث الإتران .

يحدث أحياناً أن معدل التغذية خلال قمع الإنخفاض يكون أبطأ من معدل الضخ من البئر ، حيث يغير ذلك منحنى الإنخفاض — الوقت والجزء الآخر قد لا يكون للقى . أى أن المنحنى لا يكون كما سبق بل أقرب إلى الإستواء ويبين أن قمع الإنخفاض يتسع ببطء أكثر من الجزء الأول لفترة للضخ شكل (٩-٧) . الإنخفاض المستقبلى للبئر يمكن تقديره بامتداد الخط المستقيم للجزء الثانى للمنحنى ثم قراءة الإنخفاض عند أى وقت مستقبلى .

عند تغير الإنحناء لمنحنى الإنخفاض — الوقت بعد فترة من استمرار الضخ تستخدم فقط الطريقة البيانية للمنحنى لتقدير الإنخفاض المستقبلى . فى حالة عدم تغير المنحنى فإن الإنخفاض المستقبلى يمكن تقديره من معادلة ثيس (Theis) أو بالرسم البيانى . عند تغير المنحنى لا تطبق معادلة ثيس فى أى وقت بعد التغير . الميل الأصلى.



شكل (٧-٩) معدل الشحن أقل قليلاً من معدل السحب ولذلك فإن الجزء الثاني من منحنى الإنخفاض لا يصبح مستقيماً .

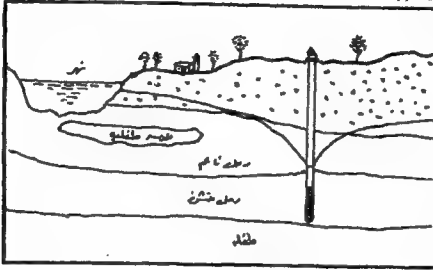
يجب ملاحظة أنه عند حساب الإنتقال (T) للتربة الحاملة أن تتم باستخدام قيمة S (الإنخفاض) للمقابل للميل من الجزء الأول من مخطط الإنخفاض - الوقت . بعد نقطة التفسير في الميل التقدير الرقمي لا يعتمد به عند تحليل بيانات إختبار الضخ سواء كان ذلك باستخدام معادلات ثيس في حالة عدم الإتران أو عدم الإتران المطورة .

إعادة الشحن من نهر : (Recharge From River)

الوصول إلى حالات الإتران حيث يستقر قمع الإنخفاض حول البئر أثناء الضخ قد تحدث عند عدة حالات عامة . أحد هذه الحالات هي حيث يتم تغذية الخزان من نهر أو بحيرة الشكل (٧-١٠) يوضح حالة حدوث الإتران .

أثناء المرحل الأولى للضخ قمع الإنخفاض لا يمتد حتى النهر ولا توجد تغذية . عندما يمتد قمع الإنخفاض أسفل مساحة النهر ، عندئذ تتسرب مياه النهر إلى أسفل خلال الطبقة المسامية تحت تأثير الضغط الهيدروليكي وذلك في حالة الاتصال الهيدروليكي مع الخزان الجوفي . عندئذ يغذى النهر الخزان بمعدل يزداد مع إتساع

قمع الإخفاض .



شكل (٧-١٠) تمدد قمع الإخفاض أسفل النهر بسبب تدرج هيدروليكي بين الخزان الجوفي والنهر .

عند تساوى إعادة الشحن للخزان الجوفي مع السحب من البئر فإن كلاً من قمع الإخفاض وملسوب الضخ يصبحان مستقرين . للجزء الأفقى في الشكل (٧-٨) يقابل هذه الحالة والموقف في الشكل (٧-١٠) .

عند استناد الخط في الشكل (٧-٨) يلاحظ أن الإخفاض المتوقع بعد ٥٠٠٠ دقيقة من الضخ المستمر يكون ١٨,٧ متر (٦١,٢ قدم) . التغذية للخزان الجوفي في هذه الحالة تقلل من الإخفاض ١١,٨ قدم (٣,٦ متر) عن ذلك الموجود في الشكل (٧-٧) بعد نفس الفترة الزمنية من استمرار الضخ .

إعادة الشحن بالنسرب الرأسى : (Recharge From Vertical Percolation)

تحسنت حالة الإتران كذلك عند إعادة الشحن خلال المساحة الكلية للتأثير حول بئر الإنتاج . يحدث ذلك عندما يكون البئر في الخزان الجوفي الغير محصور حيث السربة فى منطقة التهوية من سطح التربة حتى خط المياه تكون من رمل مماسى . نفترض أنه عند إتساع قمع الإخفاض يحدث تسرب نتيجة سقوط الأمطار خلال منطقة نصف القطر المؤثر للبئر . عند تساوى حجم المياه المتسرب خلال نصف القطر المؤثر

إلى خط المياه لمعدل الضخ من البئر فإن قمع الإنخفاض يتوقف عن الإنتشار وتحدث حالة إتران لمنسوب الضخ من البئر والخزان الجوفى . قد يكون الشكل السائد للتغذية التى تحدث حالة إتران هى التسرب للرأسى للماء من الطبقة المشبعة فوق الخزان الجوفى . الطبقة السطحية فى منقة للتشبع تكون عادة ذات نفاذية منخفضة عن التربة العميقة حيث يوجد البئر . و فرق النفاذية بين الطبقة العليا والعميقة يمكن من تقييم الطبقة العليا كطبقة محصورة . عندما تغطى مساحة دائرة للتأثير ألف متر مربع فإن التسرب الكلى من الطبقة العليا رغم ضعف النفاذية يمكن أن يساوى تصرف البئر ويحدث حالة من الإتران فى منسوب الضخ .

إنر ميل خط المياه : Effect Of a Sloping Water Table

تتدفق المياه خلال الخزان الجوفى فى إتجاه البئر أو بعيداً عنه تحدث موقف آخر والذي يمكن أن يسبب ثبات لمنسوب الضخ . للمياه الجوفية تتحرك بسبب فرق الضغط الناتج بين مناطق التغذية ومناطق السحب . للمول لخط المياه أو السطح البيزومتري يمثل فرق الضغط . معظم الميول الطبيعية لخط المياه أو السطح البيزومتري تكون مستوية نسبياً ولا تؤثر على ملحيات كفاءة البئر . الإحناء النسبى الحاد يسبب تشويه لقمع الإنخفاض حول البئر . وتصبح مساحة للتأثير بيضاوية بدلاً من أن تكون دائرية . أكثر المياه التى تضخ من البئر تأتى من التدفق العلوى أكثر من التدفق المتساوى من كل الإتجاهات .

الكشف عن تأثيرات الشحن : (Detecting Recharge Effects)

تأثير الشحن على شكل مخطط الإنخفاض — الوقت كان منصباً على مخطط البئر الجارى ضغه شكل (٨-٧) . يجب معرفة أن القياسات لبئر الملاحظة سوف تنتج مخطط مشابه عدا أن الوقت الذى يحدث عنده تغير فى الإتجاه يختلف طبقاً للمسافة النسبية لمصدر الشحن .

البيانات من بئر الملاحظة تكون عادة أكثر دقة ويعتمد عليها أكثر من البيانات

من بئر الإنتاج . لذلك فإن مخطط الإنخفاض - الوقت من آبار للملاحظة يعتمد عليها أكثر لمعرفة كفاءة الخزان الجوفى .

نظرياً كلاً من المخططين لبئر الإنتاج وبئر للملاحظة يعطيان نفس قيمة ΔS . نفترض أن قيمة ΔS لكليهما هي ٢,٨ متر (٩,٣ قدم) كما في الشكل (٨-٧) فإن الانتقال للتربة الحاملة سيكون

$$T = \frac{0.183 \times 1910}{2.8} 125 \text{m}^2 / \text{D}$$

سيكون واضح من هذا أن دقة وإستمرار للقياسات للإنخفاض عند بدء إختبار نوبات الضخ يعتبر هام جداً . ولزم للحصول على بيانات كافية مبكرة عند الإختبار لنعكس بوضوح كفاءة البئر والخزان الجوفى قبل تأثيرات الشحن أو أى تأثيرات خارجية التي تعيق تطبيق القاعدة النظرية لعدم الإتران .

الحدود الصماء : Imprevious Boundaries

نسبة قليلة من الخزانات الجوفية تؤكد الفرضية الأساسية بالحد اللانهائى فى كل الإتجاهات من بئر الإنتاج . كثير من الحالات توجد حدود جيولوجية وهيدروليكية التي تحد من مساحة الخزان الجوفى وخاصة فى المناطق الباردة والجليدية . تؤثر الحدود الصماء على مخطط الإنخفاض - الوقت بطريقة عكس التي تحدثها التغذية للخزان الجوفى هذه الحدود تجعل منحنى المخطط يزداد إحتواءً بدلاً من أن يستوى . ويمكن بسهولة تفهم هذا عند معرفة كيف تتحرك المياه من الخزان الجوفى إلى البئر .

الفرضية العامة هي أن المياه تتحرك من جميع الإتجاهات نحو البئر . عند إستخدام قمع الإنخفاض الذى يتمدد لحدود صماء على أحد أجناب بئر الإنتاج فإنه لا يعتمد فى هذا الإتجاه ولا يحدث إمداد بالمياه من هذا المكان . عندئذ فإن قمع الإنخفاض يجب أن يتمدد ويزداد عمقه بسرعة أكثر فى باقى الإتجاهات للمحافظة على معدل الإنتاج للبئر . ولأثر ذلك على مخطط الإنخفاض - الوقت للشبه لوغاريتمى هو زيادة الإحتواء كما فى الشكل (١١-٧) .

يجب ملاحظة للفرضية السابقة في أن إختبارات الضخ يجب ألا تقل عن يوم للآبار الإرتوازية ولا تقل عن ثلاثة أيام للآبار الغير محصورة. الشكل (٧-١١) يوضح أثر الحدود بعد ١٠٠ دقيقة من بداية الضخ . حيث عند عمل الإختبار لمدة ١٠٠ دقيقة فقط فإنه لا يمكن إكتشاف تأثير الحدود . حيث في هذه الحالة عند امتداد خط المنحنى الأول سيوضح إنخفاض قيمته ١٨,٩ متر (٦٢ قدم) بعد ٧ أيام (١٠٠٠٠ دقيقة) من الضخ بمعدل ١٣٦٠ م^٣/س (٢٥٠ جالون في الدقيقة) بينما التقدير الصحيح هو ٢٢,٣ متر (٧٣ قدم) كما هو محدد من امتداد للفرعة الثانية من المنحنى.

في الخزان الجوفي المحصور كبر قمع الإنخفاض أثناء الضخ لمدة ٢٤ ساعة كافي للوصول إلى الحدود التي تؤثر على تقدير الإنخفاض من المخطط الشبه لوغاريتمى . في الخزان الجوفي الغير محصور يتمدد قمع الإنخفاض ببطء بما يتطلب زمن ضخ أكثر للوصول إلى شواهد وجود الحدود للصماء .

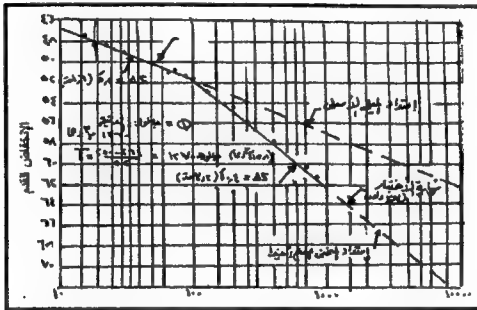
مسافة مخطط الإنخفاض : (Distance Drawdown Diagram)

في حالة قياس الإنخفاض في وقت واحد لثلاث آبار ملاحظة أو أكثر ، فإنه يمكن عمل مخطط شبه لوغاريتمى للإنخفاض لعمل مخطط دقيق للإنخفاض — الوقت فإنه يلزم ثلاث آبار ملاحظة . كل منها على مسافة مختلفة من بئر الإنتاج .

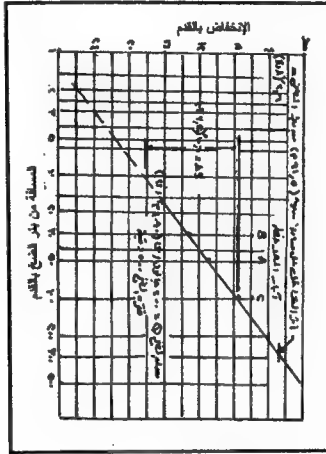
في حالة توقيع هذه القيم على ورقة ذات تقسيمات عادية كما في الشكل (٧-١٢) حيث أثر الانخفاض لقمع الإنخفاض قرب بئر الإنتاج يتم توفيره . وهذا مشابه للمنحنيات في الأشكال (٦-١٠ ، ٧-١ ، ٧-٢ ، ٧-١٠) .

في حالة توقيع الإنخفاض في الآبار الثلاث على مخطط شبه لوغاريتمى ، فإن منحنى الإنخفاض يصبح خط مستقيم كما في الشكل (٧-١٣) .

المقياس الرأسى يمثل الإنخفاض والمقياس الأفقى يمثل لوغاريتم المسافة من بئر الإنتاج . للنقط التى تمثل الإنخفاض فى آبار ملاحظة أخرى بعيداً عن بئر الإنتاج سوف تقع أسفل الخط المستقيم فى الشكل (٧-١١) . وذلك نظراً لأنه على مسافة ما من البئر الجارى ضخه u أكبر من 0.05 فى حالة زيادة u عن 0.05 فإن علاقة الخط المستقيم بين S إلى $\log r$ لا تصبح صحيحة .



شكل (٧-١١) الانحناء الحد لمنحنى الوقت - الإنخفاض للشبه لوغاريتمى يوضح خزان جوفى محدود . تمدد شمع الإنخفاض خلال حدود صماء فى الوقت الموضح فى المنحنى .



شكل (٧-١٣) مسار قمع الإنخفاض موقع على مخطط شبه لوغاريتمى يصبح خط مستقيم .
الإنخفاض في كل بئر ملاحظة تم قياسه بعد بدء الضخ بـ ٥٠٠ دقيقة .

للتوقيع للشبه لوغاريتمى لقمع الإنخفاض (مخطط الإنخفاض - الوقت) بسيط
تطبيق العلاقة بين الإنخفاض - المسافة . الخط المستقيم يمكن أن يمتد جهة اليمين
لتعيين أثر الضخ عند أى مسافة من بئر الضخ . فمثلاً الشكل (٧-١٢) يبين أنه عند
ضخ البئر بمعدل ١٠٩٠ م^٣/اليوم (٢٠٠ جالون فى الدقيقة) لمدة ٥٠٠ دقيقة ، يحدث
إنخفاض ٠,٨ متر (٢,٦ قدم) لبئر آخر على مسافة ٩١,٥ متر (٣٠٠ قدم) .

مع التحول للبسيط إلى المعادلة رقم (١٠) يسمح بحساب الانتقال من مخطط
المسافة - الإنخفاض . ميل للخط المستقيم يستخدم بطريقة مشابهة الطريقة المستخدمة
لمخطط الإنخفاض - الوقت والمعادلة لهذا هي :

$$(١٣) T = \frac{0.366 Q}{\Delta S}$$

حيث :

T = معامل الانتقال م^٢/ى

Q = معدل لضخ م^٣/ى

ΔS = ميل مخطط الإخفاض - للمسافة طبقاً للتغير في الإخفاض بالمتر بين أى مسافتين على القياس اللوغاريتمى بنسبة ١٠.
بالنسبة للمثال الموضح فى الشكل (١١-٧)

$$T = \frac{0.366 \times 1090}{3.2} = 125 \text{ m}^2 / \text{D}$$

معامل التخزين : Coefficient Of Storage

معامل التخزين يمكن حسابه من مخطط الإخفاض — المسافة باستخدام المعادلة التالية المنبثقة من المعادلة رقم (١٠)

$$(١٤) S = \frac{2.25 T t}{r_o^2}$$

حيث :

S = معامل التخزين

T = معامل الانتقال م^٢/يوم

r_o = تقاطع إمتداد الخط المستقيم عند إخفاض صفر بالمتر .

من الشكل (٧/١٣) قيمة r_o ١٥٢ متر (٥٠٠ قدم) ، T هى ١٢٤ م^٢/اليوم أو (٩٩٦٠ جالون فى اليوم) ، t = ٥٠٠ دقيقة (٨.٣٤٧ يوم) . لهذا

$$S = \frac{2.25 \times 124 \times 0.347}{(125)^2} = 4.2 \times 10^{-3}$$

يلاحظ عندئذ أن معاملات التخزين للخزان الجوفى يمكن حسابها من العلاقتين التاليتين نتيجة إختبار الخزان الجوفى .

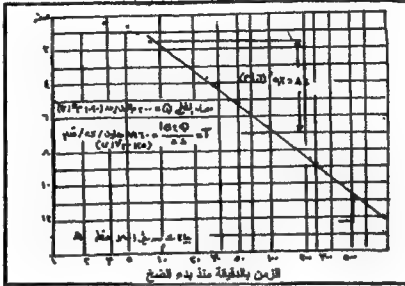
معدل إنخفاض منسوب المياه في أى مكان خلال قمع الإنخفاض على مخطط الإنخفاض - الوقت

شكل ووضع قمع الإنخفاض في أى وقت على مخطط الإنخفاض ... المسافة هذه الحسابات مستقلة كل عن الأخرى ولذلك نتائج أحدهما قد تستخدم لمراجعة نتائج الثانية .

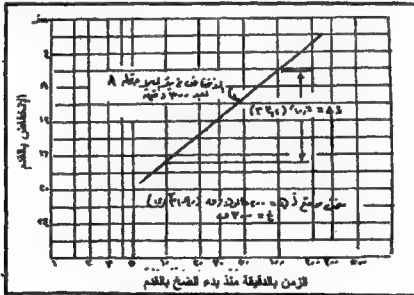
الاستخدامات الأخرى لمخططات الإنخفاض - المسافة :

لاحظ أن قيمة ΔS في مخطط الإنخفاض - المسافة ضعف ΔS في مخطط الإنخفاض - الوقت لخزان جوفى معين وعند معدل ضخ واحد ، وهذه النسبة للمبول لكلا الخططين المستقيمين هي علاقة ثابتة . لذلك فعند تعيين ΔS من مخطط الإنخفاض - الوقت فإن ميل المنحنى على مخطط الإنخفاض - المسافة يكون الضعف في حالة ضخ البئر بنفس المعدل . وهذا يمكن من عمل مخطط الإنخفاض - المسافة من مخطط الإنخفاض - الوقت نتيجة القياسات من بئر ملاحظ واحد . ولكن عند ملاحظة الإنخفاض في بئر واحد فقط (كمثال بئر الإنتاج) فإنه لا يمكن عمل حسابات مستقلة عن كفاءة الخزان الجوفى . المثال التالى يوضح كيف أن مخطط الإنخفاض - المسافة يمكن عمله من بيانات مخطط الإنخفاض - الوقت . الشكل (١٤ - ٧) بين مخطط شبه لوغارىتمى لبيانات الإنخفاض - الوقت من بئر ملاحظ A على بعد ١٥,٢ متر (٥٠ قدم) من بئر الإنتاج كما هو موضح فى الأشكال السابقة (١٢ ، ١٣) . قيمة ΔS من مخطط الإنخفاض - الوقت هي ١,٦ متر (٥,٣ قدم) ، هي تماما نصف قيمة ΔS من منحنى الإنخفاض - المسافة من الشكل (١٣ - ٧) . فى حالة عمل مخطط الإنخفاض - المسافة بعد ٣٠٠ دقيقة من الضخ فإن الإنخفاض عند البئر A عند ٣٠٠ دقيقة هو ٢,٩ متر (٩,٤ قدم) كما هو موضح فى الشكل (١٤) . تم توقيع هذه القياسات على ٥٠ قدم مسافة على مخطط جديد كما فى الشكل (١٥ - ٧) . عندئذ يرسم خط مستقيم $\Delta S = ٥,٣ \times ١٠,٦ = ٣,٢$ (متر) خلال هذه النقطة . وبهذا فإن مخطط الإنخفاض - المسافة تم إحدائه والذي يمثل قمع الإنخفاض بعد ٣٠٠ دقيقة من الضخ

بمعدل ٢٠٠ جالون في الدقيقة .



شكل (٧-١٤) منحنى الزمن - الإنخفاض في البئر الملاحظ A الذي يبدأ عن بئر الضخ بمسافة ٥٠ متر (١٦٥,٢) . اختبار الفراغ الجوى تم بمعدل ضخ ثابت ٢٠٠ جالون في الدقيقة ١٠٩٠ م^٣/د



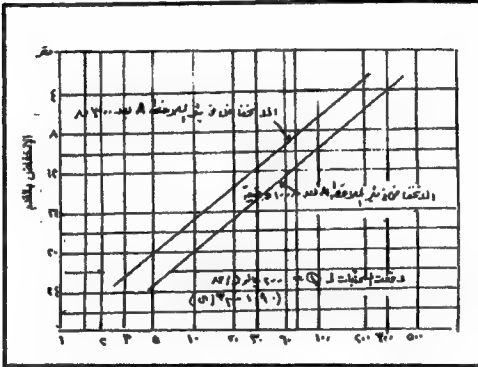
شكل (٧-١٥) للمسافة الإنخفاض مواقع من بئرلات الزمن - الإنخفاض . الشكل (٢٦) يوضح وضع قمع الإنخفاض بعد ٣٠٠ ق من الضخ بمعدل ٢٠٠ جالون في

تقييم لتأثيرات التداخل : [Evaluating Interference Effects]

للتدخل أو الإنخفاض في بئر آخر ٣٠٠ قدم (٩١,٥ متر) من بئر الإنتاج ، في هذه الحالة يمكن معرفتها مباشرة من الشكل (٧-١٥) . بعد نهاية ٣٠٠ دقيقة من الضخ فإن الإنخفاض عند مسافة ٢٠٠ قدم هو ٢,٥ قدم . إذا كان معدل الضخ ٤٠٠ جالون في الدقيقة ، فإن الإنخفاض في الخزان الجوفي عند هذه النقطة سيكون الضعف للقيمة أو ٥ قدم . سيكون هناك تدخل متبادل بين بئرين بعدين بمسافة ٢٠٠ قدم بمعدل ضخ ٤٠٠ في الدقيقة . تأثير التدخل على مختلف المسافات يمكن تقديره بنفس الطريقة والتأثير الكلي لبئر واحد هو مجموع التأثيرات الناتجة لكل الآخرين من المجموعة . في هذه المناقشة تم حساب تدخل البئر في ظروف خزان جوفي يضخ لمدة ٣٠٠ دقيقة ذلك لأن الشكل (٧-١٥) بنى على هذا الأساس ، في حالة الرغبة في التعرف على التدخل في حالة توقيتات مختلفة للضخ المستمر فإنه يلزم عمل مخطط آخر للإنخفاض - المسافة مع البدء بنقطة أخرى . مأخوذة من بيانات الاختبارات الأصلية ، الإنخفاض في بئر الملاحظة A بعد ١٠٠٠ دقيقة من الضخ بمعدل ضخ ٢٠٠ جالون في الدقيقة في الشكل (٧-١٣) للمخطط الذي يصور الحالات بمع ١٠٠٠ ق من الضخ بمعدل ٢٠٠ جالون في الدقيقة في الشكل (٧-١٦) موازى للخط عند الضخ لمدة ٣٠٠ دقيقة .

لإعطاء صورة واضحة للتدخل في حقل آبار حيث توجد عدة آبار للضخ حيث تتطابق لقاع التأثير شكل (٧-١٧) يلزم دراسته جيداً . الشكل (٧-١٧ - A) شكل للبئرين البعدين عن بعضهما بمسافة ٢٠٠ قدم كل يضخ بمعدل ٥٠٠ جالون /الدقيقة لمدة ١٠ ق . يلاحظ أنه بعد ١٠ ق فإن لقاع الإنخفاض لم تتصل ببعضها . الشكل (٧-١٧ - B) يوضح إمتداد قمع الإنخفاض بعد يومين من الضخ . في حالة ضخ كل هذه الآبار فقط فإن قمع الإنخفاض لكل يظهر في شكل الخطوط المتقطعة للبئر الذي جرى ضخه . أما في حالة ضخ البئرين معاً فإن النتيجة أو الإنخفاض يتحد عند أي نقطة في منطقة التأثير لكل من البئرين شكل (٧-١٧ - C)

مخطط الإنخفاض - الوقت لكل من البئر في الشكل (٧-١٧) سيظهر كما في الشكل (٧-١٨) . الانتقال للصحيح للخزان الجوفي يتم الحصول عليه فقط من الميل الأولي لهذا المنحني . الميل الثاني - حوالي ضعف الإنحناء بين تأثير بئر آخر . النتيجة النهائية للبئر الثاني عند ضخه بنفس المعدل يكافئ رياضيا حدود التربة الحاملة للمياه .



شكل (٧-١٦) مخطط المسافة - الإنخفاض يوضح مواقع صنع الإنخفاض بعد الضخ لمدة ٣٠٠ ق ،
١٠٠٠ بمعدل ثابت ٢٠٠ جالون / ق (١٠٩٠ م^٣/ق)

الفصل الثامن

عوامل التصميم للآبار Design Factors

عوامل التصميم للآبار : Design Factors

العوامل التي تؤدي إلى زيادة الإنخفاض في الآبار يمكن تجميعها في مجموعتين: مجموعة تشمل الاختيارات الخاصة بتصميم البئر . والثانية خاصة بعمليات الإنشاء .

موجز لعوامل التصميم التي تسبب زيادة الإنخفاض .

عدم كفاية فتحات المصفاة بما يسبب زيادة سرعة دخول المياه وبما يسبب زيادة في لفقد للمياه الدلخية عن العادي ، وكذلك سوء توزيع فتحات المصفاة وعدم إنتظامها بما يسبب زيادة دخول المياه في فتحات منفصلة وفي بعض الحالات بسبب ذلك مضاعفة الإنخفاض . عدم كفاية طول المصفاة ، بما يسبب إختراق جزئى للخران الجوفى بما يشتت شكل التدفق إلى مساحة ما حول البئر . التدفق إلى مصفاة البئر يشمل محصلة رأسية بالإضافة إلى المحصلة الأساسية الأفقية . النفاذية الرأسية عادة أقل من النفاذية الأفقية ولهذا يحدث فقد في الضغط نتيجة حدوث التدفق الرأسى .

عوامل الإنشاء .

الآتى موجز لعوامل الإنشاء التي تسبب زيادة الإنخفاض :

عدم التمية الصحيحة للبئر بما لا يحسن نفاذية التربة الحاملة للمياه حول مصفاة البئر . المصفاة ذات نسبة لفتحات صغيرة أو التوزيع الغير منتظم للفتحات يمكن أن يسبب صعوبة في تمية البئر . كذلك الوضع الغير مناسب لمصفاة البئر فى أعماق لا تقابلها أفضل تربة حاملة للمياه .

وقد يحدث الإنخفاض الزائد نتيجة النقص فى طول المصفاة الذى قد يستخدم فى حالات كثيرة نظراً لإعتبارات تصحيحية أخرى . وميتم تقييم تأثير الإختراق الجزئى للخران الجوفى بواسطة مصفاة البئر فيما بعد .

نصف القطر المؤثر ، Radius Of Influence

يمكن تحديد نصف القطر المؤثر للبئر فى معظم الحالات من مخطط الإنخفاض

— المسافة وذلك لمعرفة مدى إمتداد قمع الإنخفاض من الناحية العملية هي المسافة الموضحة بامتداد الخط المستقيم على مخطط الإنخفاض — المسافة إلى نقطة الإنخفاض صفر. يلاحظ أن هذه المسافة هي نفس المسافة حيث r_0 في المعادلة (

$$S = (V-1) \frac{0.3 T t}{r_0^2}$$

حالات الإتزان ، Equilibrium Conditions

عندما يميل قمع الإنخفاض إلى الإستقرار والإقتراب من حالة الإتزان أثناء إختبار الضخ فإن التأثير على مخطط الإنخفاض — المسافة يكون عادة طفيف . يمكن إستقرار قمع الإنخفاض نتيجة للشحن من تساقط المياه أو للتسرب من التربة المشبعة أعلى للخران الجوفى أو للتدفق الطبيعى للمياه الجوفية فى إتجاه وحول موقع البئر . كذلك تحدث حالة الإتزان نتيجة للشحن من بحيرة أو مجرى مائى وذلك عندما يتقابل الإنخفاض الهيدروليكى بين خط المصدر والبئر للجارى ضخه .

فى حالة إعادة الشحن فإن قمع الإنخفاض يكون ميله أكثر قليلاً فى إتجاه خط المصدر عن باقى الإتجاهات من البئر ، وخاصة عندما يكون خط المصدر قريباً .

فى هذه الحالة فإن القياسات فى آبار الملاحظة بين بئر الضخ ومصدر الشحن تنتج مخطط إنخفاض — مسافة أكثر ميلاً عن العادى . يحدث هذا لأن تأثير الشحن ينتج عنه إنخفاض أقل فى بئر الملاحظة الأقرب من خط المصدر عن باقى آبار الملاحظة على الجانب الآخر من بئر الضخ . عدا هذه الحالة فإن ميل مخطط الإنخفاض — المسافة يوفر قاعدة يمكن الإعتماد عليها فى حساب الإنتقال للخران الجوفى بصرف النظر على تأثير إعادة الشحن . ولا ينطبق ذلك لحساب معامل التخزين عند حدوث إعادة الشحن . إعادة الشحن تؤثر على مخطط الإنخفاض — المسافة بالنسبة للرأسى . وللنتيجة هي أن r_0 أقل عما تكون فى حالة عدم إعادة الشحن . وهذا بالتالى يزيد من قيمة معامل التخزين عن قيمته الحقيقية . فى بعض الحالات تكون قيمة الحسابات لمعامل التخزين أكبر من واحد . هذه قيمة مستحيلة ومثل هذه

القيمة تثبت بدون شك حدوث إعادة شحن .

وجود حدود صماء يؤثر على مخطط الإنخفاض — المسافة بطريقة على عكس تأثير إعادة الشحن تماماً . ميل المخطط يتأثر قليلاً فقط في حالة مسافة البعد النسبي لأى حد أصم مقارنة بالمسافات من آبار الملاحظة . آبار الملاحظة القريبة من الحد الأصم تبين لإنخفاض أكثر من العادى ، ومخطط للإنخفاض المسافة يكون مستقيم قليلاً عن ما يمكن عليه الحال بخلاف ذلك .

وهذا يؤدي إلى زيادة القيمة الحسابية للانتقال أكبر من القيمة الحقيقية . وحساب قيمة معامل التخزين تكون أصغر من القيمة الحقيقية نظراً لإزالة مخطط المسافة — الإنخفاض إلى أسفل على المخطط الشبه لوغاريتمى بتأثير الحد الأصم . القيمة المنخفضة للغير متوقعة لمعامل التخزين تبين عادة وجود مثل هذا الحد الأصم .

الاستخدام المزدوج للمخططات شبه لوغاريتمية Combined use Of Semilog

، Graphs

لقد رأينا أن الحسابات من مخطط الإنخفاض — الوقت يمكن إستخدامها في مراجعة حسابات الإنخفاض — المسافة وبالعكس . عند تغذية بئر من خزان جوفى متجانس من المخزون فقط فإن كلاً من المخططين يعطيان نتائج متشابهة . الحسابات من أحد المخططات مستقلة عن الآخر ، بفرض أن مخطط الإنخفاض — المسافة تم عمله من قياسات في ٣ آبار ملاحظة أو أكثر .

في حالة ظهور أثر لإعادة الشحن أثناء إختبار الضغ أو في حالة مقابلة فمع الإنخفاض لحد غير مسامى Impervious Boundry ، فإن التأثير على كلا المخططين يكون مختلف إلى حد ما كما سبق توضيحه . للجدول (١) الآتى يوضح هذه اللمتناقضات . معرفة مختلف للتأثيرات تفيد في تقييم إختبار الخزان الجوفى .

جدول (١) مقارنات الشحن وتأثيرات الحدود على المخطط شبه لوغاريتمى

مخطط الوقت - الإنخفاض	مخطط المسافة - الإنخفاض
١- إحناء المخطط يصبح أكثر إستواءً وإذا تم حساب الإنقزال على أساس منحنى أكثر إستواءً سيكون أكبر من القيمة الحقيقية .	١- إحناء الخط المستقيم يظل بدون تغيير حساب الإنقزال للخران الجوفى من المخطط يكون عادة قريباً من قيمته الحقيقية .
٢- إمتداد خط مستقيم للمنحنى المستوى ينتج عنه قيمة خاطئة ل r_0 التى تكون مرتفعة جداً. الحساب بإستخدام هذا الشكل يعطى معامل تخزين الذى هو أكبر من القيمة الحقيقية .	٢- ينتقل الخط المستقيم لأعلى . الإمتداد إلى صفر إنخفاض يعطى قيمة r_0 التى تستخدم عند حساب معامل التخزين ينتج عنه قيمة أعلى من القيمة الصحيحة .

جدول (٢) مقارنة تأثيرات إعادة الشحن والحدود على المخططات شبه اللوغاريتمية :

تأثير إعادة الشحن أثناء اختبار الضخ

مخطط الإنخفاض - الوقت	مخطط الإنخفاض - المسافة
١- إحناء المخطط يصبح أكثر إستواءً . إذا تم حساب الإنقزال على أساس منحنى أكثر إستواءً سيكون أكبر من القيمة الحقيقية .	١- إحناء الخط المستقيم يظل بدون تغيير . حساب الإنقزال للخران الجوفى من المخطط يكون عادة قريباً من قيمته الحقيقية .
٢- إمتداد خط مستقيم للمنحنى المستوى ينتج عنه قيمة خاطئة ل r_0 التى تكون مرتفعة جداً . الحساب بإستخدام هذا الشكل يعطى معامل تخزين أكبر من القيمة الحقيقية .	٢- ينتقل الخط المستقيم لأعلى . الإمتداد إلى صفر إنخفاض يعطى قيمة r_0 التى تستخدم عند حساب معامل التخزين ينتج عنه قيمة أعلى من القيمة الحقيقية .

تأثير الحدود أثناء اختبار الضخ

مخطط الوقت - الإنخفاض	مخطط المسافة - الإنخفاض
١- يصبح ميل الشكل أكثر إحناءاً . عند حساب الإنقزال على أساس ميل منحنى ، سيكون أقل من القيمة الحقيقية .	١- ميل الخط المستقيم يظل بدون تغيير . حساب الإنقزال للخران الجوفى من المخطط يكون عادة قريباً من قيمته الحقيقية .
٢- إمتداد خط الإنحناء المائل يعطى قيمة خاطئة ل r_0 التى تكون مرتفعة جداً. الحساب بإستخدام هذا الشكل يعطى	٢- الخط المستقيم ينتقل لأعلى . الإمتداد إلى صفر إنخفاض يعطى قيمة خاطئة ل r_0 والذى يجعل حساب قيمة معامل التخزين

مخطط الوقت - الإنخفاض	مخطط المسافة - الإنخفاض
معامل تخزين أكبر من القيمة الحقيقية .	أصغر من القيمة الصحيحة .

تأثير الإختراق الجزئي Effect of Partial Penetration

معظم المناقشات التي تم تناولها عن كفاءة البئر افترضت أن التدفق في اتجاه البئر يكون كله نصف قطري (Radial) - الشكل (٨-١) يوضح هذه الحالة - كل خطوط التدفق بدون محصلة رأسية .

للتدفق نصف قطري في هذا المخطط لأنه يصور (١) خزان جوفي إرتوازي (محصور) (٢) مصفاة البئر قطرها مساوى سمك الخزّان الجوفى . (٣) ظروف الضخ حيث للتربة الحاملة للتربة من البئر لا تفرغ من المياه (Unwatered) .

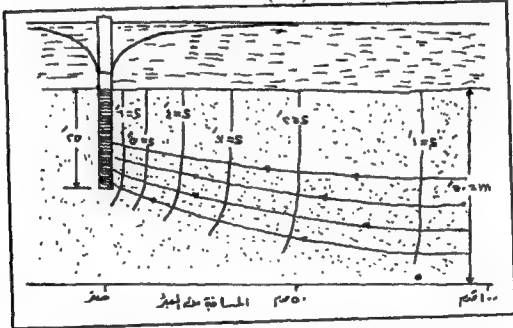
عند عدم حدوث التدفق النصف قطري ، فإن شكل التدفق والإنخفاضات يختلف إلى حد ما عن ما تم حسابه في الطرق السابقة . الشكل (٨-١) يوضح خزان جوفى محصور (Artisan Aquifer) حيث المصفاة في ٥٠% في سمك الخزّان الجوفى وفى الجزء العلوى . فى هذه الحالة فإن الأسهم تمثل مسارات التدفق لجزيئات المياه خلال للتربة إلى مأخذ البئر حيث الحيود على التكتف النصف قطري واضح تماماً . المياه فى الجزء السفلى للخزان الجوفى يجب أن تتحرك خلال خطوط منحنية لتصل إلى فتحات المصفاة للبئر . فى هذه الحالة فإن المياه تأخذ ممرات أطول عن خطوط التدفق النصف قطرية . نتيجة زيادة طول مسارات التدفق هي زيادة الإنخفاض فى البئر بالنسبة للخزان الجوفى عند أى نقطة رأسية من البئر . لهذا ولإنتاج معين فإن الإنخفاض فى بئر الضخ يكون أكبر إذا كان سمك الخزّان الجوفى مخترق جزئياً عما هو الحال فى حالة الإختراق الكلى بالمصفاة .

المنحنيات فى الشكل (٨-٢) يوفر طريقة سهلة لتقدير نتائج الإختراق الجزئى للبئر فى الخزانات الجوفية المحصورة التى تكون متجانسة . هذا المخطط كان بتطوير لمعادلة (Kasney) . وهذه المعادلة لا تنطبق فى صغر سمك الخزّان الجوفى وكبير نسبة الإختراق وقطر البئر . المنحنيات فى الشكل (٨/٢) توضح الحالات التى تنطبق فى

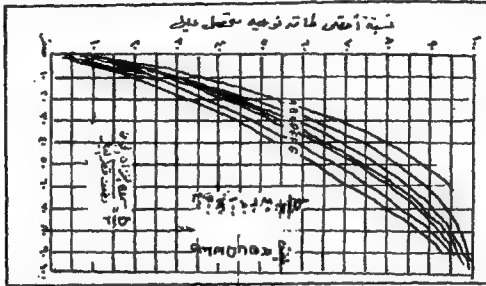
المجال الصحيح والفعال للمعادلة .

لإستخدام هذه المنحنيات فإن طول المصفاة يعبر عنه كنسبة من سمك الخزان الجوفى . بعد توقيع هذه القيمة على المقياس الأفقى تحرك لأعلى مع الخط للرأسى حتى التقاطع مع المنحنى الذى يمثل النسبة لسمك الخزان الجوفى إلى قطر البئر لهذه الحالة . تحرك أفقياً ولقرأ قيمة النسبة على المقياس للرأسى . هذه النتيجة تمثل الطاقة النوعية (Specific capacity) للبئر المخترق جزئياً مقيمة كنسبة للطاقة النوعية التى يمكن الحصول عليها عند الإختراق الكامل للبئر .

وعند تقسيم طول المصفاة إلى قطاعات بالسمك الكامل للخزان الجوفى يفصل بينها وصلات عمياء حيث الطول يساوى طول المصفاة التى تخترق ٥٠% من سمك الخزان الجوفى . عندئذ فإن الطاقة النوعية (Specific Capacity) أو الإنتاجية للنوعية (Specific Yield) للبئر ستزداد شكل (٣-٨) .



على (٨-١١) عند إختراق بئر جزئياً للخزان الجوفى فإن خطوط التنفق فى الخزان الجوفى تحيد إلى حد ما عن التنفق للتصفى قطرى الذى يصلح البئر المخترق كلياً .



شكل (٨-٢) علاقة الإختراق الجزئي والطاقة النوعية للآبار في خزانات جوفية محصورة ومتجانسة .

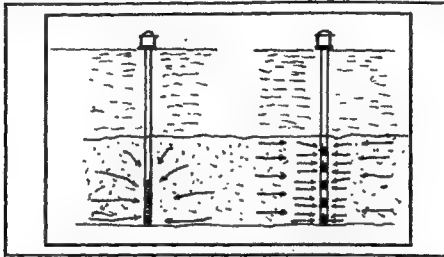
في حالة بئر خط المياه (الغير محصور) (Water Table Well) ، فإن مسألة الإختراق الجزئي يجب أخذها في الاعتبار لأن ضخ البئر يزيل المياه من الجزء العلوي للرمال . وهذا يقلل من سمك التشبع وبالضرورة يقلل جزء المأخذ للبئر . عادة ضخ بئر المياه يحدث إنخفاض للذي يمثل نسبة كبيرة من سمك الخزان الجوفي . ينتج عن هذا إنحراف لشكل التدفق مقارنة بالتدفق للنصف قطري .

إستخدام بيانات إستعادة منسوب المياه .

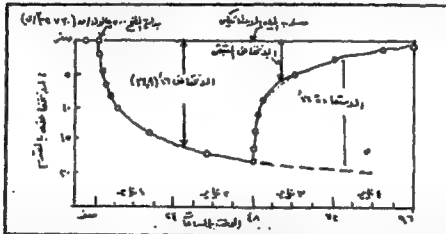
عند توقف ضخ البئر فإن منسوب المياه في البئر والخزان الجوفي يعود من الموقع المنخفض في اتجاه المنسوب قبل بدء الضخ . معدل حدوث هذه العودة يوفر وسيلة لحساب معاملات التخزين والإنتقال . لهذا فإن تسجيل توقيتات العودة يعتبر جزء هام من إختبارات البئر . قياسات الزمن - الإنخفاض أثناء فترة الضخ وقياسات الزمن - الإستعادة يوفر مجموعتين من المعلومات من إختبار واحد للخزان الجوفي . للقيم المتحصل عليها من تحليل بيانات الإستعادة تمكن من مراجعة الحسابات المبينة على بيانات الضخ .

عند وجود بئر إختبارى واحد على الأقل على مسافة مناسبة من بئر الضخ فإن بيانات إستعادة منسوب المياه لهذا البئر تعكس تماماً للخصائص الهيدروليكية للخرزان الجوفى . عند عدم توفر بئر ملاحظة فإن بيانات إستعادة منسوب المياه لبئر الضخ يمكن إستخدامها فى حسابات محدودة لإمكانات الخزان الجوفى . فى جميع الحالات مناسبة المياه يتم قياسها فى بئر الضخ وفى آبار الملاحظة (يفضل ألا تقل عن ١ بئر ملاحظة).

لثناء فترة الضخ يجب أن يتم الضخ بمعدل ثابت بيانات الإستعادة (recovery) يمكن تحليلها كما سيتم توضيحه فقط فى حالة مقابلة هذه الحالة . قياسات الإستعادة التى تتبع إختبار إختلاف المعدل، مثل إختبار الإنخفاض المرحلى (Step Draw) Downtest لا يمكن إستخدامه . التوقيت المضبوط لبدء الضخ والتوقف للطلمبة يجب تسجيله ، مع ملاحظة كذلك أى تغيرات فى معدل الضخ والتى لا يمكن تجنبها والتوقيت المضبوط عند حدوث كل تغير . منحنيات الإستعادة التى تعكس إستجابة الخزان الجوفى توضح التغير فى منسوب المياه مع الوقت . وكجزء هام من التسجيل يكون للتوقيت المضبوط عند عمل كل قياس . ليست كل الآبار تقاس فى توقيت واحد ولكن الفاصل الزمنى بين القياسات يجب أن يكون تقريباً واحد لكل بئر .



شكل (٨-٣) كفاءة البئر يمكن أن تتحسن باستخدام قطاعات متعددة من المصفاة في الخزان الجوفي المسمى لخفض تأثير الإختراق الجزئي . حيث طول المصفاة واحد في الحالتين .



شكل (٨-٤) منحنيات الإختراق والإستعادة لبئر الضخ خلال ٤٨ ساعة بمعدل ثابت للضخ ٥٠٠ جالون / متر (٢٧٣٠ م^٣/د) يليه يومين للإستعادة منسوب المياه .



شكل (٨-٥) بئر الإنتاج ويتر الملاحظة A المستخدم عمل إختبار الخزان الجوفي .

عند كل بئر يجب تحديد إرتفاع نقطة القياس والتي تكون عادة أعلى القيسون .
 لقياس عمق المياه بدقة تستخدم تجهيزة تعمل كهربية — صوتية (Electric Sounding Device) ، أو الشريط الصلب الموزون (Welghed Steel Tape) . القراءات التي تؤخذ بفقاعات الهواء أو بعددات الضغط لا يعتمد عليها في هذا النوع من الإختبار . الشكل (٨-٤) يوضح طريقة تغير منسوب المياه في البئر لا مع الوقت . المنحنى اليسار من الشكل يقابل زمن الضخ والنصف الأيمن يقابل زمن الإستعادة بعد توقف الضخ . الشكل يوضح أن منحنى الإستعادة يكون عملياً صورة مقلوبة لمنحنى الإنخفاض . يتأثر الشكل المضبوط لكل من هذه المنحنيات بالخصائص الطبيعية للخران الجوفى . الإختبار التفصيلى لمنحنى الوقت — الإستعادة يمكن من التحليل لمعرفة هذه الخصائص .

النقط الموقعة على النصف الأيمن من الشكل (٨-٤) تمثل الإنخفاض المتبقى (Residual Draw Down) فى البئر أثناء فترة الإستعادة لكل واحدة تمثل الفرق فى منسوب المياه الاستاتيكي الأصلي والعمق إلى المياه عند لحظة محدودة أثناء فترة الإستعادة . كل قيمة عندئذ هى الإنخفاض المتبقى — المسافة التي يرتفع إليها منسوب المياه للوصول إلى منسوب المياه الاستاتيكي الأولى .

يجب أن تبني للقياسات لإستعادة منسوب المياه على منسوب مياه الضخ . للنظرية الهيدروليكية للبئر وكفاءة الخزان الجوفى تفترض أن منسوب المياه يتغير أثناء فترة الإستعادة يكون نتيجة لرضية تصور حدوث الشحن للبئر . فى حالة قيام هذا البئر بضخ المياه فى الخزان الجوفى بنفس معدل ضخ البئر الحقيقى للمياه خارج الخزان الجوفى ، مع عمل كل من البئرين فى نفس الوقت بعد فترة معينة ، فإن منحنى الإستعادة سيكون كما فى الشكل (٨-٤) الإرتفاع فى منسوب المياه ، بسبب بئر الشحن للتصورى ، يكون للمسافة الرأسية بين إمتداد منحنى الوقت — الإنخفاض والمنحنى التصوري الحقيقى الوقت — الإنخفاض . الإستعادة تعنى عندئذ الفرق بين قياس منسوب المياه فى بئر الملاحظة فى وقت محدد بعد توقف الضخ والمنسوب الذى

يوجد عليه الماء عند استمرار الضخ حتى هذه اللحظة .

عند التعريف بهذه الطريقة ، طريقة إستعادة منسوب المياه فى أى وقت يشابه نظرياً الإنخفاض فى نفس الوقت أثناء فترة الضخ . بطريقة أخرى الإستعادة خلال ٢٤ ساعة بعد توقف الضخ سيمساوى الإنخفاض الذى تم قياسه لمدة ٢٤ ساعة بعد بدء الضخ . الإستعادة للكاملة عموماً تتطلب فترة أطول عن فترة الضخ ، عدا فى حالات حدوث الشحن للخران الجوفى أثناء فترات الضخ والإستعادة بفرض بئر إختبار^٦ (١٥٢م) وبئر ملاحظة على مسافة ٥٠ قدم (١٥,٢ متر) . لإختبار الخزان الجوفى كما فى الشكل (٥-٨) بعد ضخ للبئر بمعدل ٢٠٠ جالون / ق (١٠٩٠ م^٣/ى) لمدة ٥٠٠ ق ، وتؤخذ قياسات منسوب المياه أثناء ٤٠٠ ق من فترة الإستعادة . الجدول (٣) العمق إلى قياسات الماء فى بئر الملاحظة A والإنخفاض المتبقى للفترات الزمنية التى قيست من كل من إختبار بدء الضخ وبدء زمن الإستعادة . هذه الفترات يعبر عنها بالرموز t_1 ، t_2 . النسبة بين الفترتين t_2 ، t_1 موضحة فى الجدول (٣) .

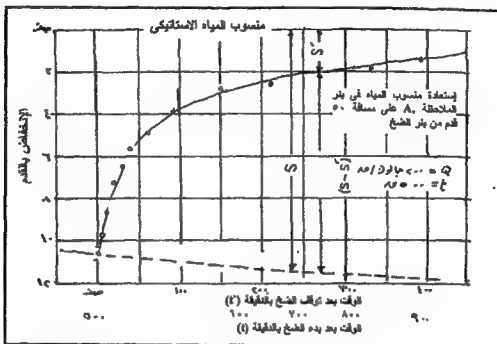
الشكل (٦-٨) يوضح منحنى الإستعادة موقع من بيانات الإختبار . إبتداء جزء الضخ للمنحنى يوضح الإنخفاض فى بئر الإختبار A الذى تم تصحيحه إذا كان الضخ مستمر . إستعادة منسوب المياه لفترات زمنية مختلفة هو الفرق بين المنحنيات فى هذا المخطط للقيم موضحة فى الجدول (٣) . المنحنيات فى الشكل (٦-٨) لا تتناسب مع التحليل الرياضى . ويمكن تسميتها للتحاليل بأحد طريقتين أحدهم طريقة (Theis) لمعادلة عدم الإتران . وسبق أن أوضحنا أن منحنى الوقت — الإنخفاض لفترة الضخ يصبح خط مستقيم (عدا فى الجزء الصغير الأول من المنحنى) أو مخطط شبه لوغارىتمى . ونفس التبسيط يمكن إستخدامه لمنحنى الوقت — الإستعادة حيث للتوزيع الأتقى بين لوغارىتم الوقت أثناء الإستعادة والتدرج للرأسى يمثل إستعادة منسوب المياه ($S - S_0$) .

جدول (٣) الإنخفاض المتبقى وحساب الإستعادة في بئر للملاحظة :

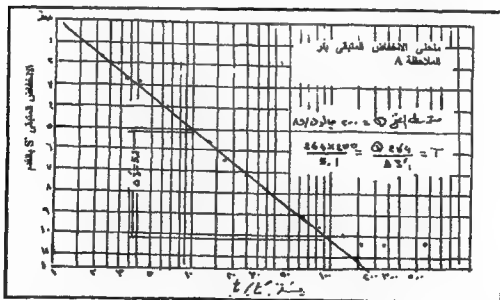
الوقت منذ بدء الضخ t دقائق	الوقت عند توقف الضخ t دقائق	نسبة t/t	المق إلى الماء قدم	الإنخفاض المتبقى قدم	الإنخفاض S من منحني الضخ	حساب الإستعادة S - S قدم
٥٠٠	صفر	—	١٨,٦	١٠,٦	١٠,٦	صفر
٥٠١	١	٥٠١	١٨,٤	١٠,٤	١٠,٦	٠,٢
٥٠٢	٢	٢٥١	١٨,٥	١٠,٥	١٠,٦	٠,١
٥٠٣	٣	١٦٨	١٨,٤	١٠,٤	١٠,٦١	٠,٢١
٥٠٤	٤	١٢٦	١٨,٠٩	١٠,٠٩	١٠,٦١	٠,٥٢
٥٠٦	٦	٨٤	١٧,٧٢	٩,٧٢	١٠,٦٢	٠,٩٠
٥٠٨	٨	٦٤	١٧,٢٢	٩,٢٢	١٠,٦٣	١,٤١
٥١٠	١٠	٥١	١٦,٦٤	٨,٦٤	١٠,٦٤	٢,٠٠
٥٢٠	٢٠	٢٦	١٥,٢٧	٧,٢٧	١٠,٦٧	٣,٤
٥٤٠	٤٠	١٣,٥	١٣,٦٣	٥,٦٣	١٠,٧٣	٥,١
٥٦٠	٦٠	٩,٣٥	١٢,٩٥	٤,٩٥	١٠,٨٠	٥,٨٥
٥٩٠	٩٠	٦,٥٥	١٢,٠١	٤,٠١	١٠,٩٦	٦,٩٥
٦٥٠	١٥٠	٤,٣٣	١٠,٨	٢,٨	١١,١٥	٨,٣٥
٧١٠	٢١٠	٣,٣٨	١٠,٧	٢,٧	١١,٣٥	٨,٦٥
٧٧٠	٢٧٠	٢,٨٥	١٠,٠٦	٢,٦	١١,٥٦	٩,٥٠
٨٣٠	٣٣٠	٢,٥١	٩,٩٦	١,٩٦	١١,٧٦	٩,٨٥
٨٩٠	٣٩٠	٢,٢٨	٩,٦	١,٦	١١,٩٥	١٠,٣٥

• منسوب المياه الإستاتيكي ٨ قدم (٢,٤٤ متر) .

× متوسط معدل الضخ أثناء فترة الضخ السابق كان ٢٠٠ جالون / ق .



شكل (٦-٨) منحنى الانخفاض المتبقي من بئر الملاحظة ، باستداد معنى الوقت - الانخفاض ، موضع على مقاييس رياضية . وهذا يبين كيف تعين الاستعادة الحسابية في أي لحظة أثناء فترة الاستعادة ، بئر الضخ كان يعمل بمعدل ٢٠٠ جالون / دقيقة لمدة ٥٠٠ في .



شكل (٧-٨) الانخفاض المتبقي مقابل النسبة t/t' يصبح خط مستقيم على ورقة شبه لوغاريتمية ، وهذا للتوقع يمكن من حساب الانتقال كما نرى ، الوقت خلال فترة الانتقال يزداد خلال اليمسار في المخطط

بيانات الاستعادة من بئر الضخ يمكن كذلك توقعها وتحليلها بطريقة مماثلة .
 منحني الوقت - الاستعادة لبئر الضخ أكثر دقة عن منحناه عن الوقت - الانخفاض
 بسبب أن قياسات منسوب المياه المتبقى أكثر دقة أثناء فترة الاستعادة ، يمكن عمل
 قياسات منسوب المياه بدون تدخل من اهتزازات الطلمبة وبدون التأثير بالتغيرات
 اللحظية في معدل الضخ . الطريقة المناسبة لتوقع البيانات تسمح باستخدام المباشر
 بالانخفاض المتبقى بدون حساب الاستعادة من امتداد منحني الوقت - الانخفاض .
 يمكن ملاحظة أن الانخفاض المتبقى مرتبط بلوغاريتم النسبة t/t' كالتالي :

$$S' = \frac{2.40 Q}{T} \log t/t'$$

وهذه للمعادلة توضح أنه عند توقع قيم S' مقابل القيم المقابلة للنسبة t/t' على
 ورقة مخطط شبه لوغريتمي ، يمكن رسم خط مستقيم خلال النقاط الموقعة ، الشكل (٧)
 (٨- يوضح البيانات من الجدول (٣) موقعه على مخطط شبه لوغاريتمي بقيم S'
 موضحة على مقياس رأسي رياضي وقيم t/t' على مقياس رياضي . الانتقال بحسب
 عندئذ من المعادلة التالية :

$$T = \frac{264 Q}{\Delta S'}$$

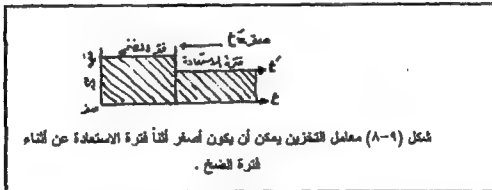
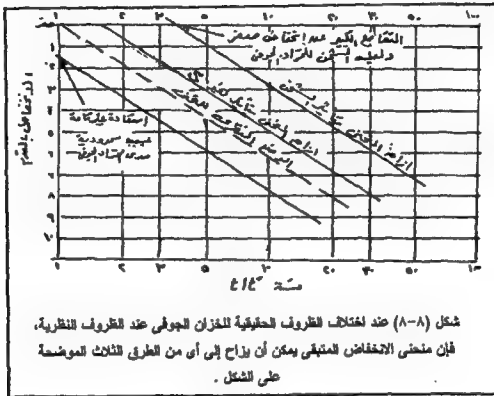
حيث :

T = معامل الانتقال بالجالون في اليوم لكل قدم .

Q = معدل الضخ جالون في الدقيقة .

$\Delta S'$ = التغير في الانخفاض المتبقى لكل دورة لوغاريتمية لقيم t/t' بالقدم .

يلاحظ من الشكل (٣) أن الوقت خلال فترة الاستعادة يزداد في اتجاه اليسار
 في طريقة للتوقع هذه ، بينما على منحنيات الانخفاض يزداد الوقت في اتجاه اليمين .
 في حالة عدم توفر بئر ملاحظة ، فإن بيانات الاستعادة من بئر الضخ سوف
 توفر عادة أفضل أساس لحساب الانتقال للخرن الجوفي .
 منحني الانخفاض المتبقى في الشكل (٧-٨) يستخدم دائماً في مثل هذه الحالة .



تعيين معامل التخزين : (Determining Storage Coefficient)

في حالة عمل للقياسات في بئر اختباري واحد على الأقل أثناء فترة الاستعادة، يمكن حساب معامل التخزين من التوقع الشبه لوغاريتمي لـ $(S - S')$ مقابل لوغاريتم t . منحنى الانخفاض المتبقى لا يمكن استخدامه لتعيين معامل التخزين ،

ولكن هذا المنحنى يتلام مع حساب الانتقال .

بالإشارة إلى منحنى الانخفاض المتبقى في الشكل (٧-٨) ، فإنه واضح أن قيم α لا يمكن الحصول عليها من هذا المخطط . المقياس الأفقى هو نسبة . تقاطع هذا المنحنى عند صفر انخفاض له معالم مختلفة تماماً على هذا المخطط .

لمناقشة هذه النقطة ، من الضروري مراجعة الفرضيات الأساسية التى استخدمت فى تطوير المعادلات لتحليل بيانات الاختبار من كل من وقت الضخ ووقت الاستعادة لنبز الاختبار .

عند تطابق للخرن الجوفى لهذه الفرضيات ، فإن منحنى الانخفاض المتبقى عند امتداده جهة اليسار كما فى الشكل (٧-٨) سيمر خلال نقطة الانخفاض صفر حيث النسبة (t/t) تصبح مطابقة (Unity) . النسبة t/t تقترب من الواحد الصحيح عند امتداد أطول فترة الاستعادة .

بعد فترة طويلة من الاستعادة ، فإن منسوب المياه فى الخزان الجوفى يميل إلى العودة إلى منسوب المياه الاستاتيكي الأصلي ، مع اقتراب الانخفاض المتبقى من الصفر عندما تقترب t/t من واحد ، للنسبة t/t تقترب من واحد مع امتداد أطول فترة الاستعادة.

بعد فترة طويلة من الاستعادة فإن منسوب المياه فى الخزان الجوفى يميل إلى العودة إلى منسوب المياه الاستاتيكي الأصلي ، مع اقتراب الانخفاض المتبقى من الصفر عند اقتراب t/t من الواحد . نظرياً فإن منحنى الانخفاض المتبقى سوف يمر خلال الركن الأيسر العلوى من المخطط شكل (٧-٨) .

دراسة منحنيات الانخفاض المتبقى من الاختبارات الحقيقية للخزان الجوفى أظهرت أن المنحنى لا يمر دائماً خلال هذه النقطة . والتى يمكن أن تسمى أصل المخطط ، عند عدم مرور المنحنى خلال الأصل ، يتضح من هذا أن ظروف الخزان الجوفى لا تتطابق مع الظروف المثالية المفروضة .

يمكن توضيح ثلاث حالات حيث تختلف من الخزان الجوفي النظري بمنحنى الانخفاض المتبقى . في حالة صفر انخفاض في المخطط عند قيمة $t/2 = 2$ أو أكثر ، ينتج من هذا أن هناك شحن يحدث أثناء فترة الضخ . نتيجة الشحن هو العودة إلى الاستعادة الكاملة لمنسوب المياه الاستاتيكي الأصلي أثناء فترة شحن قصيرة نسبياً - قبل اقتراب $t/2$ من واحد . المنحنى العلوى في الشكل (٨-٨) يوضح هذه الحالة .

تتضح حالة مختلفة عندما يبين المنحنى على اليسار انخفاض متبقى لعدة بوصات أو أكثر عند اقتراب $t/2$ من واحد ، تحدث هذه الحالة عندما يكون الخزان الجوفي محدود ولا يحدث شحن . المنحنى السفلى من الشكل (٨-٨) يوضح نتيجة هذا النوع .

الحالة الثالثة التي يمكن أن تكون بسبب الإزاحة للقليلة لمنحنى الانخفاض تنتج من التغيير في قيمة معامل التخزين S . نظرياً ، معامل التخزين يفترض أن يكون ثابتاً . عملياً احتمال تغير قيمة S حيث تكون أكبر أثناء فترة الضخ أكثر منه أثناء الاستعادة التالية . قيمة S لخزان جوفي محصور تتوقف على الخاصية الإلاستيكية (Elastic) للتربة الحاملة . في حالة عدم الإلاستيكية للطبقة تماماً فإنها لا تعود رأسياً بنفس معدل انضغاطها نتيجة الانخفاض أثناء الضخ السابق . (Elastic - تعنى خاصية مطاطية ولكن بعد التمدد لا تعود إلى الأصل) . أثناء الضخ من خزان جوفي غير محصور فإن الهواء يشغل الفراغات في الرمال في منطقة قمع الانخفاض نظراً لأن هذا الجزء من التربة تم سحب المياه منه . حجم المياه المسحوبة لكل قدم مكعب من التربة هو قيمة S . عند توقف الضخ فإن خط المياه الصاعد قد يحتوى على بعض الهواء كفقاعات في مسام الرمال . لهذا فإن حجم من المياه أصغر قليلاً سيعيد ملء الجزء من التربة التي سبق سحب المياه منها . بما ينتج عنه قيمة أصغر لـ S أثناء الاستعادة . الشكل (٨-٩) يوضح الموقف في أبسط صورة ، حيث تظهر قيمة S أثناء فترة الاستعادة بما يعادل ثلثي قيمتها أثناء فترة الفتح . تأثير التغيير في قيمة $t/2 = 2$ على مخطط الانخفاض المتبقى موضح بالمنحنى الأوسط في الشكل (٨-٨) بينما أن تحليل

بيانات الإنخفاض يفيد في تقدير نتائج إختيارات ثبات معدل الفتح ، فأن هذه البيانات لا يمكن استخدامها للحصول على منحنى المسافة من الانخفاض .

ولكن هناك معلومات أخرى من الاختيار يمكن الاستفادة بها . يمكن إفتراض قيمة لمعامل التخزين ، مبنيه على معلومات عن ما هو الخزان الجوفى الذى يتم للتعامل معه إن كان خزان جوفى محصور (Artisan) أو غير محصور . للمعرفة الجيولوجية توفر دليل لهذا في معظم الحالات .

بالنسبة للخزان الجوفى المحصور نفترض قيمة $S = 0.005$ ، وبالنسبة للخزان الجوفى الغير محصور نستخدم قيمة $S = 0.1$. نتائج الحسابات ستكون أقل دقة عن معرفة القيم الحقيقية . بينما أن معظم الخزانات الجوفية لا تتطابق مع كل الحالات النظرية المفروضة بواسطة فرضية (theis) ، إلا أن خبره في تطبيق المعادلات وعلاقتها أثبت أنها جيدة . في حالة عدم تجانس الخزان الجوفى كالقرصنيه فإن التدخل الهيدروليكي خلال التكوينات الجيولوجيه ينتج عنه إستمرار ضبط التدفق بين المناطق المحلية ذات الاختلاف في النفاذية . قمع الإنخفاض عندئذ يميل إلى العمق والانتشار بطريقة تمكس القيم المتوسطة الكلية لخصائص الخزان الجوفى من ناحيه الانتقال والتخزين (transmissivity And storage) .

قيم T و S يجب إعتبارها قيم متوسطة للمساحة . وبالتالي يجب أن تتوقع بعض الاختلافات في إنتاجيه البئر في موقع الأبار المختلفة عند تقدير الكفاءة من نتائج إختيارات الخزان الجوفى .

الخلاصة:

هذه الطرق الرياضية المستخدمه عادة لحساب الخصائص الرئيسيه للخزان الجوفى t و S تم مناقشتها . معرفة هذين المعيارين للخزان الجوفى تمكن من حساب الطاقة النوعية (specific Capacity) ، الطاقة للإنتاجيه (potential Yield) ، الانخفاض (Draw-Down) عند أى نقطة بعده عند البئر ، وكفاءة البئر .

الفصل التاسع

تصميم بئر المياه

Water Well Design

تصميم بئر المياه :

تصميم البئر هو عملية توصيف المواد الطبيعية والأبعاد للبئر . ويهدف التصميم الجيد لتأكيد الآتى :

- أقصى إنتاجية مع أدنى انخفاض بالنسبة لقدرة الخزان الجوفى .
- التوعية الجيدة للمياه مع الحماية من التلوث .
- المياه خالية من الرمال .
- عمر افتراضى طويل للبئر (٢٥ عام أو أكثر) .
- تكاليف قصيرة الأجل وطويلة الأجل معقولة .

وتشمل الأعمال الهندسية الأخذ فى الاعتبار هذه الأهداف جميعها ، رغم أن تصميم البئر قد تبدو خطواتها سهلة ، إلا أن الظروف الهيدرولوجية المحلية والاعتبارات العملية تعقد تصميمات آبار كثيرة . للخطوط الإرشادية للتصميم الموضحة بعد تركيز أساساً على تصميم آبار الاستخدام المنزلى لإنتاج مياه الشرب والآبار للأغراض الصناعية والرى ، هذه الآبار يجب أن تصمم لضخ أقصى إنتاج ممكن من الخزان الجوفى ، والحصول على أعلى كفاءة ، والحصول على مياه خالية من الرواسب . هذه العوامل لها تأثيرها المباشر على تكاليف التشغيل . عامل اقتصادى هام آخر وهو الفقد الناتج من اضطراب الخدمة فى تنمية إمداد المياه للكبير . للتصميم الجيد يقلل هذه المخاطر ببناء الاعتبارات فى مياه الآبار التى تؤكد العمل لفترة طويلة للبئر خالية من المشاكل . فى هذا المجال سيتم مناقشة العوامل الخاصة بالتصميم والمتعلقة بآبار الاستخدام المنزلى والرى والتنمية .

مهندس التصميم يجب أن يقرر الاحتياجات المائية ويصمم للبئر على الأساس حيث لا يجوز تصميم بئر يحقق إنتاجية ١٦٤٠ م^٣ / اليوم بينما الاحتياجات هى ١٨١,٨ م^٣ / اليوم . كما لا يجوز استخدام الصنع للقيسون (Casing) من مواد غير مناسبة أو مصفاة البئر (Wellscreen) بالحجم الغير مناسب أو من مواد غير مناسبة لخفض التكاليف الأولية . وهذا سوف يزيد من تكاليف الضخ والصيانة ويؤثر على

العمر الافتراضي للبئر .

كل بئر يتكون من عنصرين رئيسيين ، القيسون (Casing) والمأخذ ، القيسون يعمل كغطاء (Housing) لمعدة الضخ والماسورة الصاعدة لتدفق المياه إلى أعلى من الخزان الجوفي . بعض أطوال قطر الحفر للبئر تعمل كماسورة حيث تترك بدون غطاء (Uncased) وذلك عند إنشاء البئر. في منطقة صخرية متماسكة . جزء المأخذ للأبار في الخزانات الجوفية ذات للتربة الغير متماسكة أو شبه متماسكة عادة يجهز بمصفاء لمنع دخول الرواسب مع المياه وفي الوقت نفسه لتعمل كمنشأ سائد للتربة المفككة للخزان الجوفي . وفي الوقت نفسه يجب ألا تعمق المصفاء تتدفق المياه إلى البئر . مصفا البئر المنشأ جيداً تسمح بدخول المياه بحرية وبسرعة بطيئة ، وتمنع من دخول الرمال مع المياه وتعمل كحائط سائد للتربة المفككة .

في الخزانات الجوفية ذات للتربة المتماسكة يكون جزء عادة من قطر الحفر مفتوح مباشرة للخزان الجوفي بالعمق المناسب . حيث إنتاجية البئر في هذه الحالة تتوقف على عدد وقطر واستمرارية الفتحات في الطبقة الصخرية للخزان الجوفي .

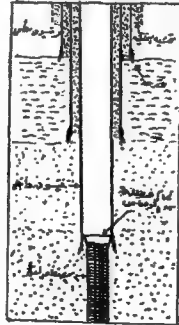
قطر البئر [قطر القيسون — Casing Diameter]

يعتبر اختيار قطر قيسون البئر من الأهمية بما يؤثره على للتكاليف . حيث يجب اختيار القطر بما يحقق عاملين هما (١) أن القيسون يجب أن يكون كبيراً بما يكفي لاحتواء الطلمبة مع وجود الفاصل الكافي الخاص بتركيبها وكفاءة عملها . (٢) أن قطر القيسون يجب أن يكون كبيراً بما يحقق سرعة صاعدة للمياه ١,٥ متر في الثانية (٥ قدم / الثانية) أو أقل .

يعتبر قطر الطلمبة اللازمة لإنتاج المطلوبة هي العامل الحاكم في اختيار قطر القيسون . يوصى بأن يكون قطر القيسون ضعف القطر الاسمي للطلمبة . وفي جميع الحالات فإن قطر القيسون يجب أن يزيد عن القطر الخارجي لجسم الطلمبة بما لا يقل عن قطر إسمي واحد للطلمبة . الجدول (١) يوضح قطر القيسون الذي يوصى به لحالات معدلات الضخ المختلفة . في حالة زيادة سرعة المياه الصاعدة عن ١,٥ متر/

الثانية يحدث فقد كبير بالاحتكاك . بالنسبة لأقطار القيسون ومعدلات الضخ الموضحة في جدول (١) فإن الفقد في الضغط (Head loss) سيكون صغيراً . القيم النظرية للطاقة النوعية لمجال خصائص الخزان الجوفى يمكن استخدامها في تقدير الطاقة الإنتاجية للبئر . الطاقة النوعية النظرية لحالة معينة يجب تخفيضها باستخدام معامل يمثل كفاءة البئر . ويضرب هذه النتيجة بالإنخفاض للمتاح أو المتوقع يعطى تقدير لإنتاجية البئر . في حالة اختيار قطر القيسون طبقاً للجدول (١) سيكون هناك فاصل مناسب للطلمية للتربينية الرأسية ، مع استقامة عامود للطلمية ولا تحدث له إعاقة حتى في حالة الحيوذ للقليل في استقامة البئر وعدم استقامته تماماً . الفاصل مناسب تماماً للطلمية الغاطسة . كذلك ، في حالة تركيب الطلمية أسفل أى مقطع به مصفاة (Screened Section) ، سيكون هناك مساحة كافية حول رأس الطلمية لتسمح بمرور المياه إلى أسفل مع أدنى فقد في الضغط لأخذ الطلمية .

في حالة الآبار للعميقة حيث مناسيب الضخ من المتوقع أن تكون مرتفعة نسبياً ، يمكن خفض قطر البئر عند نقطة ما أسفل أدنى منسوب متوقع لوضع الطلمية يحدث هذا في كثير من الآبار التى تنشأ في الخزانات الجوفية المحصورة (الإرتوازية) حيث الضغط الإرتوازي (Artisan Head) يكون مرتفع نسبياً (شكل ١-٩)



كل (٩-١١) بئر عميق منشأ
بإستخدام قيسونات متكرجه
في الصخر على أعماق كبيرة
مع وجود تطلق

جدول (١) قطر البئر الذى يوصى به لمعدلات الضخ المختلفة :

تصرف البئر المقدر جالون/ق م ^٣ /ى	قطر الاسمى الخارجى للطلمبة	قطر القيسون البئر بوصة مليمتر	أصغر قطر القيسون البئر بوصة مليمتر
٥٤٥ من ١٠٠-١٠٠ من ٥٤٥	٤	١٠٢	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)
١٧٥ إلى ٩٠٩	٥	١٢٧	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)
٢٥٠ إلى ١٨١	٦	١٥٢	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)
٣٠٠ إلى ١٩١	٨	٢٠٣	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)
٣٢٠ إلى ٢٨٢	١٠	٢٥٤	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)
٣٥٠ إلى ٣٠٠	١٢	٣٠٥	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)
٣٨٠ إلى ٢٦٠	١٤	٣٥٦	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)
٤٠٠ إلى ٢٤٠	١٦	٤٠٦	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)
٤٢٠ إلى ٢٢٠	٢٠	٥٠٨	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)
٤٤٠ إلى ٢٠٠	٢٤	٥٠٨	١ (١٢٧-١٢٧) (١٢٧-)

عند اختيار الطلمبة ، يلزم على المهندس للمصمم للبئر الحصول على المعلومات من مورد الطلمبة الخاصة بالتصرف المطلوب ، وظروف الضغط ، كفاءة الطلمبة المطلوبة .

قطر القيسون مبنى على لقطر الخارجى لرأس الطلمبة (Bowl) بالنسبة للطلمبة التربينيه ، على القطر الخارجى لرأس الطلمبة أو قطر الموتور بالنسبة للطلمبة الغاطسة .

عمق البئر : Well Depth

الصق المتوقع للبئر يتم تحديده عادة من لوغاريتم بئر الاختبار (Test Hole) من لوغاريتمات آبار أخرى قريبة لنفس الخزان الجوفى أو أثناء الحفر لبئر إنتاج . عموماً يتم لكتمال لبئر حتى قاع للخزان الجوفى . يتم ذلك لسببين هما (١) زيادة الاستفادة من سمك الخزان الجوفى لإمكان استخدامه كجزء من مأخذ البئر بما ينتج عنه زيادة للطاقة النوعية (٢) إمكانية زيادة الانخفاض بما يسمح بزيادة إنتاجية البئر . هناك استثناء واحد لهذه القاعدة حيث المصفاة توضع فى المنتصف ما بين قمة وقاع البئر .. كما يحدث فى الخزانات الجوفية المحصورة المتجانسة وذلك لزيادة كفاءة استخدام طول المصفاة للمعطى .

كما أن هناك موقف يتطلب الحيود عن هذه القاعدة حيث المياه ذات النوعية الرديئة توجد في الجزء السفلي للخران الجوفي . في مثل هذه الحالة يتم استكمال البئر إلى العمق حيث يتم تجنب المياه الغير مرغوبة والحصول على أفضل نوعية من المياه متوفرة . عمق البئر في الصخور البلورية يمكن أن يحدد كذلك بعوامل التكلفة .

طول مصفاة البئر (Well Screen Length) :

أقصى طول لمصفاة البئر يتم اختياره بالنسبة لسمك الخزان الجوفي ، الانخفاض متاح وتكوين الخزان الجوفي من عدة طبقات (Stratification Of the Well) للقواعد المطبقة لأربع حالات كنماذج كالآتي :

الخرانات الجوفية الارتوازية المتجانسة [المحصورة] :

في هذا النوع من الخزانات الجوفية ، يتم وضع المصفاة في ٧٠ - ٨٠ % من سمك الرمال الحاملة للمياه ، مع افتراض أن منسوب ضخ المياه غير متوقع أن يكون تحت قمة الخزان الجوفي . أعمال التصميم الجيدة تملئ أن أقصى انخفاض متاح في البئر الارتوازي سيكون للمسافة من منسوب المياه الاستاتيكي حتى قمة الخزان الجوفي .

في حالة سمك الخزان الجوفي أقل من ٢٥ قدم فإن العمق الكافي للمصفاة يمثل ٧٠% من السمك . في حالة زيادة السمك عن ٥٠ قدم يتم تجهيز ٨٠% من السمك بمصفاة . أطوال المصفاة المقابلة لهذه القاعدة تمكن من الحصول على ٩٠% أو أكثر من الطاقة النوعية التي يمكن للحصول عليها في حالة تركيب المصفاة في العمق الكلي للخران الجوفي . يمكن الحصول على أفضل النتائج بوضع منتصف المصفاة في منتصف البئر أو بتقسيم المصفاة إلى قطاعات متساوية الطول مع وضع وصلات عمياء بين قطاعات المصفاة .

خزان جوفي محصور مكون من طبقات (Stratified Artesian Aquifers)

في هذا الخزان يكون من الواضح وضع المصفاة في الطبقات من التربة ذات النفاذية . يمكن تحديد أكثر الطبقات نفاذية أو إنتاجية عادة بأحد التقنيات الآتية :

- ١ - عمل اختبار النفاذية على عينات التي تمثل الطبقات المتتالية للتربة الحاملة للمياه.
 - ٢ - عمل تحليل المنخل لعينات مماثلة للطبقات المتتالية للخران الجوفى . ومقارنة منحنيات حجم الحبيبات يمكن أن يوضح النفاذية النسبية لكل عينة . فى حالة عدم الاختلاف الكبير للعينات بالنسبة للتجانس فإن النفاذية النسبية يمكن تقديرها بمقارنة مربع الأحجام المؤثرة (Effective-Sizes) .
 - ٣ - الفحص المباشر والمقارنة تتم على عينات ممثلة لكل طبقة . للنفاذية النسبية لكل تقدر من ملاحظة خشونة ونظافة المادة .
- هذه التقنيات مرتبة حسب درجة الاعتماد عليها ، وكذلك طبقاً للتكاليف أى أن الأول هو الأكثر اعتماداً عليه والأكثر تكلفة . يوصى بعمل تحليل منخل على عينات التربة للأبار .

الخرانات الجوفية الغير محصورة والمجانسة :

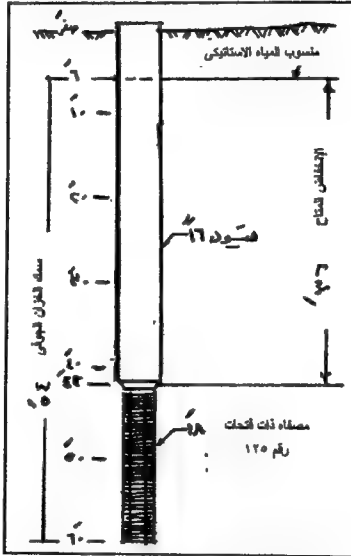
Homogenous Watertable Aquifers

طبقاً للنظريات والخبرة فقد ثبت أن تركيب المصفاء عند الثلث السفلى للخران الجوفى الغير محصور يوفر أفضل تصميم لهذه الحالة . فى بعض الحالات تنشأ المصفاء فى النصف السفلى للخران الجوفى للحصول على طاقة نوعية عالية . فى بعض الحالات يكون من المرغوب فيه الحصول على كفاءة عالية لأفضل من الحصول على الإنتاجية الكلية (Total Yield) .

بالنسبة للأبار الغير محصورة يعتبر اختيار طول المصفاء هو نوع من المقارنة بين عاملين . على جانب تردد الطاقة للنوعية باستخدام مصفاء طويلة ما أمكن ذلك ، وعلى الجانب الآخر احتمال زيادة الانخفاض باستخدام مصفاء قصيرة ما أمكن ذلك . هذين العاملين المتناقضين يمكن تأمينهم باستخدام مصفاء بئر ذات كفاءة . الانخفاض المتاح هو المسافة بين منسوب المياه الاستاتيكي والنهاية العليا للمصفاء . بئر المياه محصور يضخ عادة بما يحمل منسوب الضخ للمياه يظل عدة أقدام أعلا للنهاية العليا للمصفاء . نوضع المصفاء فى الجزء السفلى للخران الجوفى ، نظراً لأن

للجزء العلوى للخران الجوفى يتم بالضرورة سحب المياه منه ليسبب حركة المياه نحو البئر .

الشكل (٩-٢) يوضح نموذج لتصميم بئر فى خزان جوفى غير محصور ومتجانس من ناحية التربة. هذا البئر صمم لضخ ١٥٠٠ جالون فى الدقيقة باستمرار. يلاحظ أن طول المصفاة حوالى ثلث السمك المتبقي للرمال المتجانسة .



شكل (٩-٢) طول المصفاة يساوى ثلث السمك المتبقي للخران الجوفى الغير محصور والمتجانس
يعتبر اختيار جيد

الخران الجوفى الغير محصور والغير متجانس [مكون من طبقات] :

(Stratified Water Table Aquifers)

مبادئ التصميم للمطبقة للخران الجوفى الغير متجانس المحصور تناسب كذلك فى تصميم بئر فى الخزان الجوفى الغير محصور والمتجانس . الاختلاف الوحيد فى حالة الخزان الجوفى الغير محصور هو بوضع المصفاة أو مقاطع المصفاة فى الجزء السفلى للطبقة الأكثر نفاذية لتوفير أقصى انخفاض متاح .

فلحات مصفاة البئر : (Well Screen Slot Openings)

فى حالة البئر ذو التتمية الطبيعية Naturally Developed . فتحات مصفاة البئر يتم اختيارها من دراسة بيانات تحليل المنخل لعينات ممثلة للتربة الحاملة للمياه . يتم توقيع منحنى تحليل الرمال لكل عينة . بالنسبة للتربة المتجانسة التى تتكون من رمال ناعمة متماثلة ، فإن قطر فتحات المصفاة يتم اختياره كالقطر الذى يحجز من ٤٠-٦٠% من الرمال .

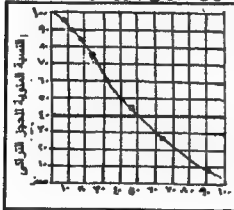
لتحديد قطر فتحة المصفاة الصحيحة ، يكون من الضرورى فقط اختيار النقطة على المخطط حيث الخط ٤٠% (أو ٦٠%) يقطع منحنى تحليل الرمل ثم يتم تعيين قطر فتحة المصفاة من المقياس الأفقى. الشكل (٣-٩) مثال لمنحنى قطر الحبيبات مثلاً لرمل متجانس . لإنشاء مصفاة فى هذه الرمال ، فإن قطر فتحة المصفاة المناسب يكون ٠.٠١٦ بوصة فى حالة حجز المصفاة ٤٠% من الرمال أو ٠.٠١٢ بوصة فى حالة حجز ٦٠% .

قطر ٤٠% يتم اختياره عادة فى حالة عدم عدوانية المياه وكذلك عند وجود قليل من الشك مثل عدم الثقة فى عينة الرمال . وعلى الجانب الآخر يتم اختيار قطر ٦٠% فى حالة للمياه العدوانية أو فى حالة الشك فى عينة المياه لأنه الاختيار الأكثر اعتدالاً حيث المياه العدوانية تسبب كبر لفتحات بعض جزء من ألف من البوصة بسبب للتآكل بما يمكن أن يسبب إنتاج رمال من البئر فى حالة تكوينات

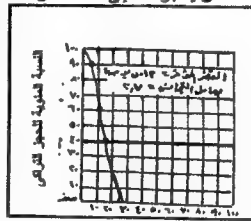
للتربة المتجانسة التي تتكون من رمال وزلط خشن ، لدى المصمم مجال أكبر في اختبار قطر الفتحات . منحني قطر الحبيبات للرمال والزلط يكون أكثر استواءً عن منحني الرمال للناعمة شكل (٤-٩). للتغير القليل من الألف من البوصة في حجم الفتحات في مثل هذه الحالة يسمح فقط بفرق صغير في كمية للمواد التي ستمر خلال مصفاة البئر أثناء التنمية للبئر . في حالة حيز الفتحات ٤٠% ، يتم دخول مواد أكثر خلال المصفاة أثناء عملية التنمية .

رغم زيادة تكاليف التنمية فإن فائدة زيادة مساحة المصفاة نتيجة زيادة قطر الفتحة، ففي حالة للمياه المسببة للترسيبات يمكن توقع زيادة فترة الخدمة للمصفاة قبل حدوث الإسداد الذي يسبب خفض في إنتاجية البئر. كبر قطر الفتحات كذلك يمكن من زيادة سمك المنطقة حول المصفاة في حالة التنمية للبئر . وهذا عموماً يزيد الطاقة النوعية للبئر ويزيد كفاءته .

الاختبار الأكثر مناسبة لقطر فتحة المصفاة عند وجود شك في الاعتماد على العينات حيث للخران الجوفي غير سميك ومحتوى على مواد متفككة ذات حبيبات صغيرة أو في حالة وقت للتنمية مناسب اقتصادياً . في مثل هذه الحالات فإن قطر الفتحة الذي يحجز ٥٠ إلى ٦٠ % من مادة للخران الجوفي يكون هو المفضل .



قطر الحبيبات على ألف من البوصة
شكل (٤-٩) من منحنى حجم الحبيبات هذا رقم
٥٠ (٠.٠٥٠ بوصة) أو فتحة لكل قليلاً يتم
اختيارها لمصفاة البئر لأجل التنمية الطبيعية
للبر



قطر الحبيبات على ألف من البوصة
شكل (٣-٩) للقطر المؤثر للرمال هو قطر
الحبيبات الذي يقابل ٩٠% حيز معامل التناقص
هو ٤٠% من الحيز مقدوماً على القطر المؤثر

الخزانات الجوفية الغير ملجانسة توجد بكثرة فى الطبيعة : (Stratified)

عند التعامل مع التكوينات الغير متجانسة يتم اختيار قطر فتحة المصفاء للقطاعات المختلفة لمصفاء البئر طبقاً لتدرج المواد فى الطبقات المختلفة . كل مقطع فى المصفاء يتم اختيار فتحاته لتناسب المواد فى كل طبقة مستقلة طبقاً للقواعد السابق توضيحها بالنسبة للرمال الرفيعة والرمال للخشنة والزلط . عند اختيار فتحات لمصفاء ذات فتحات متعددة الأقطار يطبق قانونين إضافيين :

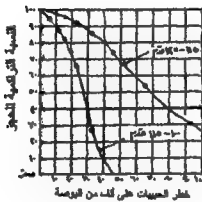
قانون رقم (١) فى حالة أن تكون المواد الرفيعة تعلو المواد الخشنة ، يتم امتداد ما لا يقل عن ٢ قدم للمصفاء ذات الفتحات المصممة للمواد الرفيعة إلى أسفل فى طبقة المواد الخشنة أسفلها .

قانون رقم (٢) فى حالة أن تكون المواد الرفيعة تعلو المواد الخشنة ، فإن حجم فتحات مقطع المصفاء للمواد الخشنة لا يزيد عن ضعف قطر فتحة المصفاء التى تعلوها للمواد الرفيعة .

تطبيق هذين القانونين يقلل من احتمالات ضخ الرمال وخاصة عندما يكون العمق ما بين قمة وقاع كل طبقة مختلفة لم يتم تحديده بدقة . للدليل نحو اختيار قطر فتحة المصفاء يشير إلى أن حوالى ٦٠ % من مادة للتربة تمر خلال فتحات المصفاء أثناء عملية التنمية . إزالة هذا الجزء ينتج عنه استقرار ورسوخ التربة حول المصفاء . وهذا يسمح للمواد من أعلى لتستقر كذلك .

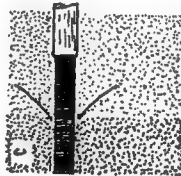
الشكل (٥-٩) يوضح ماذا يمكن حدوثه فى حالة عدم تطبيق القانون الأول من القوانين السابقة . حيث مقطع المصفاء لقطر فتحات تناسب الرمال الخشنة يبدأ عند تغير التربة حيث التقابل بين الطبقتين . ونظر لأن الجزء الرفيع للطبقة السفلى يتم إزالته أثناء التنمية يمكن حدوث تركيزات من الرمال الناعمة العلوية ، وهذا يمكن الرمال الناعمة من المرور خلال الجزء السفلى من المصفاء عندئذ يحدث استمرار ضخ الرمال .

تطبيق هذين القانونين معاً يمكن توضيحه بمثال . منحنيات تحليل الرمال في الشكل (٦) توضح طبعين من التربة تكونات الخزان الجوفى الإرتوازى بسمك ٢٥ قدم . التصميم الجيد يتطلب وضع المصفاة فى الجزء السفلى لتكوينات التربة بطول ١٨ قدم ولذى يعنى أكثر من نصف المصفاة فى الجزء من التربة لأكثر نفاذية . للتقدير السريع للموقف ، يكون من المناسب وضع البيان المتوفر فى جدول تصميمى كما هو موضح فى الجدول (٢) .



قطر الحبيبات على ألف من البوصة

شكل (٦-٩) منحنيات حجم الحبيبات تمثل الأجزاء الناعمة والخشنة لخزان جوفى من الرمال الغير متجانسة (طبقات)



شكل (٩-٥) المصفاة فى الجزء السفلى للخزان الجوفى الغير متجانس (أ) يجب أن يكون أقصى من السمك الكلى للرمل الخشن لتجنب المواقف (ب) الذى يوضح احتمال دخول الرمل الناعم للجزء العلوى من المصفاة بعد التثنية

جدول (٢) جدول تصميم قطر فتحة المصفاة .

العمق بالقدم	السك بالقدم	القطر للمؤثر على ألف من البوصة	مربع القطر للمؤثر	فتحة المصفاة الممكنة على ألف من البوصة
١١٥ إلى ١١٠	١٥	١٠	١٠٠	٢٨ ، ٣٠ ، ٣٢
١١٥ إلى ١٢٥	١٠	٢٦	٦٧٦	٦٨ ، ٨٠ ، ٩٥

يوضع فى الجدول أولاً عمق وسك كل طبقة ، قطر الحبيبات المؤثر لكل عينة ، ٤٠% حيز لكل عينة . مربع القطر المؤثر أكبر وأقل من ٤٠% حيز تراكمى (٥٠% ، ٣٠%) يتم تدوينها ، هذه الأحجام يمكن اعتبارها قيم للمصفاة فى كل طبقة بنفسها بدون اعتبار لوجود طبقة أخرى فوقها أو تحتها .

قطر الفتحات للمصفاة المستخدمة فى تكوينات من طبقتين فقط يمكن اختيارها بسرعة بدون استخدام جدول التصميم ولكن فى حالة المقارنة لعدد كبير من السينات لمواد من طبقات مختلفة فإن الجدول التصميمى يعتبر مفيد للغاية لأصل تصور لتطبيق القاعدتين الموصى بهما بالمثال التالى .

المنحنيات فى الشكل (٧-٩) يمثل قطر الحبيبات توزيع الحبيبات للأربع طبقات التى تكون الـ ٦٥ قدم السفلى لخزان جوفى غير محصور بسك ٢٠٠ قدم . قطر الحبيبات للمادة فوق الخزان الجوفى مباشرة يلزم تعيينه كذلك . التصميم الجيد يتطلب وضع المصفاة فى الثلث الأسفل للتربة سمك ٦٥ قدم . لتقدير الموقف يتم عمل مخطط مع توقيح المعلومات فى جدول التصميم شكل (٨-٩) والجدول (٣) . عمق وسك كل طبقة لنسبة حيز ٥٠ ، ٤٠ ، ٣٠ % لكل عينة يتم تسجيلها . التوصيل الهيدروليكى Hydraulic Conductivity عندئذ يمكن تقديره من المنحنيات فى الشكل (٨-٩) . مجال قطر الحبيبات فوق وأسفل نسبة قطر ٤٠% يتم تعيينه . ستكون هذه القيم التى يمكن اعتبارها للمصفاة فى كل طبقة معزولة بدون اعتبار للطبقة الأخرى .

فى حالة تركيب المصفاة ٦٥ قدم فى الجزء السفلى من الخزان الجوفى فإن قمة المصفاة تكون عند ٣٥٠ قدم ولتى يمكن حجزها بمصفاة قطر فتحاتها ٠,٠٢٠ بوصة أى أن الرواسب العليا لها نفس القطر كذلك التى توجد من ٣٥٠ إلى ٣٦٣ قدم . لذلك جزء المصفاة فى الطبقة العليا سيكون قطر الفتحات به ٠,٠٢٠ بوصة . الطبقة التالية ٠,٠٥٠ بوصة ، الطبقة التالية ٠,٠٣٠ بوصة والطبقة الأخيرة ٠,٠٦٠ بوصة .

وبتطبيق القواعد الأولى فإن الفتحات الرفيعة لجزء المصفاة العلوى (٣٥٠ إلى ٣٦٣ قدم) يجب أن يمتد لا يقل عن ٣ قدم إلى التربة أسفلها الأكثر خشونة . وهذا يجعل للحد السفلى لجزء المصفاة بقطر فتحات ٠,٠٢٠ بوصة عند ٣٦٦ قدم . تطبيق التوصية الثانية توصى بأن قطر الفتحات لا يمكن أن يزيد عن الضعف (٠,٠٤٠ بوصة) من ٣٦٦ إلى ٣٦٨ قدم . من ٣٦٨ إلى ٣٨٣ قدم فإن قطر الفتحات يتبع ثانياً قطر نسبة الحجز ٤٠% . الرواسب من ٣٨٣ إلى ٣٩٣ قدم أكثر نعومة ويكون قطر الفتحات ٠,٠٣٠ بطول ٣ قدم يوصى بوضعها من ٣٩٥ إلى ٣٩٨ قدم . من ٣٩٨ إلى ٤١٥ قدم فإن قطر فتحة المصفاة يكون ٠,٠٦٠ بوصة . الاختيار الكامل لفتحات المصفاة موضح فى الشكل (٩-٩) .

فى حالة الأخذ الدقيق للعينات من أعماق معروفة ، فإن المصمم يمكنه تصميم المصفاة لتناسب ظروف الخزان الجوفى فى موقع البئر وهذا لا يكلف أكثر من استخدام مصفاة ذات قطر فتحات متعددة . إن استخدام مصفاة ذات قطر الفتحات المناسبة يناسب كل طبقة ترسيبات سيساعد فى تحقيق أقصى طاقة نوعية كما يقلل إلى حد كبير احتمال ضخ الرمال مع المياه .

جدول (٣) جدول التصميم لقطر فتحات المصفاة

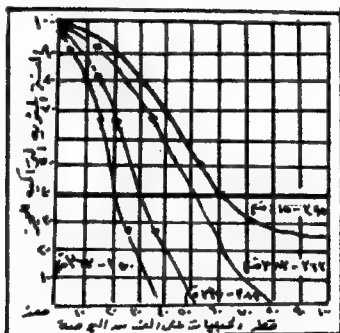
الصق بالقدم	السمك بالقدم	التوصيل الهيدروليكى جالون/يوم/قدم ^٢	الانتقال جالون/يوم/قدم	فتحة المصفاة بالبوصة
٣٦٣-٣٥٠	١٣	٥٠٠	٦٥٠٠	٠,٠٢٤ ٠,٠٢٠ ٠,٠١٩

العمق بالقدم	السكك بالقدم	التوصيل الهيدروليكي جالون/يوم/قدم ²	الانتقال جالون/يوم/قدم	فتحة المصفاة بالبوصة
٣٨٣-٣٦٣	٢٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠٠	٠,٠٥٦ ٠,٠٥٠ ٠,٠٤٥
٣٩٥-٣٨٣	١٢	١٠٠٠	١٢٠٠٠	٠,٠٣٤ ٠,٠٣٠ ٠,٠٢٦
٤١٥-٣٩٥	٢٠	١٥٠٠	٣٠٠٠٠	٠,٠٧٠ ٠,٠٦٠ ٠,٠٥٢

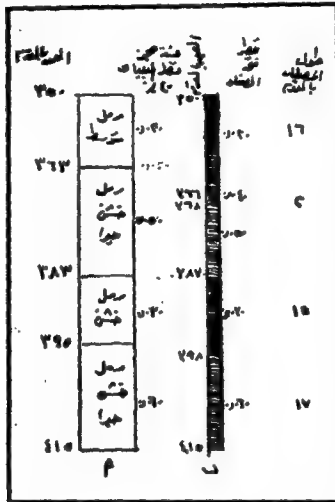
الانتقال للخرزان الجوفى ٨٨٥٠٠

الانتقال للطبقة - التوصيل الهيدروليكي للطبقة X سمك للطبقة

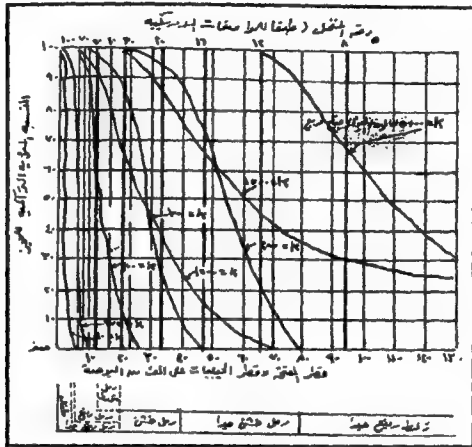
الانتقال للخرزان الجوفى = حاصل جمع الانتقال لكل طبقة فى الخزان الجوفى



نظر الحبيبات على ألف من البوصة
شكل (٧-١) ملصقات التوزيع للقطر
الحبيبات التى تمثل الطبقات المختلفة فى
خزان جوفى رملى غير متجانس



شكل (٩-١) (أ) مقطع سبعم تركيب المصفاة به ذات
فتحات بقطر طبقاً لكل طبقة (ب) مخطط للمصفاة بوضع
أقطار الفتحات المحرر طبقاً للقاعدة ١٠٢



شكل (٨-٩) يمكن تقدير التوصيل الهيدروليكي على أساس منحنيات التوزيع لقطر الحبيبات

قطر مصفاة البئر Well Screen Diameter

يتم اختيار قطر المصفاة لتحقيق المبدأ الأساسي : وهو المساحة المفتوحة التي يلزم توفيرها بما تحقق سرعة لدخول للمياه لا تزيد عن التصميم القياسي ٠.١ قدم/ الثانية (٣سم في الثانية) . يمكن تحديد قطر المصفاة خلال حدود ضيقة وذلك بعد تحديد طول المصفاة وقطر فتحات المصفاة . حيث طول المصفاة يتوقف على سمك الخزان الجوفي أما قطر فتحات المصفاة فيعتمد على التدرج في حجم الحبيبات للتربة المحيطة أو حجم حبيبات التثبيتية للزلطية (Filter Back) .

تستأثر إنتاجية البئر بقطر المصفاة وذلك رغم أن تأثير قطر المصفاة على إنتاجية البئر أقل من للتأثير الناتج عن زيادة طول المصفاة .

الجدول (٤) يوضح أنه إذا كان إنتاج البئر ٦ بوصة هو ١٠٠ جالون في الدقيقة مع انخفاض معين ، فإن بئر ١٢ بوصة منشأ في نفس المكان سينتج ١١٠ جالون في الدقيقة مع نفس الانخفاض ، بئر ٤٨ بوصة سينتج ١٣٧ جالون في الدقيقة أو ٣٧% زيادة من المياه مع نفس الانخفاض . ولهذا مضاعفة القطر لمصفاة البئر يمكن أن يزيد حوالي ١٠% فقط وذلك عند ثبات باقي العوامل ، ولكن عند مضاعفة للقطر في حالة الخزان الجوفي المحصور فإن الزيادة تكون أقل حوالي ٧% .

هذه النسب تنطبق كذلك على الطاقة النوعية (Specific Capacity) . فمثلاً في حالة بئر ١٢ بوصة ينتج ١٢ جالون في الدقيقة لكل قدم لانخفاض ، عندئذ فإن بئر بقطر ٢٤ بوصة في نفس المكان سينتج ١١١% زيادة أو ٢٢,٢ جالون في الدقيقة لكل قدم انخفاض .

شكل (٤) قطر البئر مقابل النسبة المئوية للإنتاج بالجالون :

٦ بوصة (١٥٢م)	١٢ بوصة (٣٠٥م)	١٨ بوصة (٤٦٠م)	٢٤ بوصة (٦١٠م)	٣٠ بوصة (٧٦٢م)	٣٦ بوصة (٩١٤م)	٤٨ بوصة (١٢١٩م)
١٠٠	١١٠	١١٧	١٢٢	١٢٧	١٣١	١٣٧
-	١٠٠	١٠٦	١١١	١١٦	١١٩	١٢٥
-	-	١٠٠	١٠٨	١٠٨	١١٢	١١٧
-	-	-	١٠٤	١٠٤	١٠٧	١١٢
-	-	-	١٠٠	١٠٠	١٠٣	١٠٨
-	-	-	-	-	١٠٠	١٠٥

ملحوظة : الأرقام في الجدول على أساس $R \approx ٤٠٠$ قدم (١٢٢ متر) الحالة للنموذجية للقطر المؤثر لبئر غير محصور . هذه المقارنات توضح أن زيادة قطر المصفاة قد لا يزيد الطاقة النوعية أو إنتاجية البئر بدرجة ملحوظة . ولكن

فى بعض الحالات قد تحقق زيادة للقطر زيادة فى التصريف من ١٥ - ٢٥ % .

جدول (٥) المساحات المفتوحة للمصفاى :

قطر المصفاة	قطر للفتحه على ١٠٠٠"	فتحة مستمرة % .	(أقصى مساحة مفتوحة) % .	فتحة مقنطرة % .	فتحات مصنعة عمودية % .	فتحات بلاستيك مستمرة % .	بلاستيك مقنوب % .
١٤"	٢٠	٤٤ ٢٥	- -	- -	- -	٢٢ ١٣	- -
(داخلى)	٦٠	٩٠ ٥٢	- -	١٢ ١٢	٨ ٥	٥٢ ٣٠	١٨
٨"	٣٠	٨٠ ٢٥	- -	- -	- -	٥٧ ١٨	١١
(داخلى)	٦٠	١٣٥ ٤١	١٠ ٣	١٧ ٦	١٥ ٥	٩٣ ٢٩	٢٦ ٨
٣"	٩٥	١٦٥ ٥١	١٥ ٥	- -	٢٣ ٧	- -	٤٧
١٢"	٣٠	٧٧ ١٦	- -	١٢ ١٣	- -	- -	١٤
(داخلى)	٦٠	١٣٥ ٢٨	٢٠ ٤	٣٣ ٧	٢١ ٥	- -	- -
٣"	٩٥	١٨٢ ٣٨	٣٠ ٧	- -	٣٢ ٧	- -	- -
٣"	١٢٥	٢١٤ ٤٥	٣٩ ٩	٦٨ ١٤	٤٣ ٩	- -	٥٢
١٦"	٣٠	٩٧ ١٦	- -	١٦ ٣	- -	- -	١١
(خارجى)	٦٠	١٦٩ ٢٨	٢٤ ٤	٣٥ ٦	٢٧ ٥	- -	- -
٩٥	٢٢٨ ٣٨	٣٥ ٦	- -	٤١ ٧	- -	- -	- -
١٢٥	٢٦٨ ٤٥	٤٧ ٨	٧٨ ١٣	٥٥ ٩	- -	- -	٥٢ ٩
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

٠ بوصة مربعة / للقدم

جدول (٦) أقصى سرعات يوصى بها لدخول المياه إلى المصفاة

أقصى سرعة لدخول المصفاة		التوصيل الهيدروليكي	
قدم في الثانية	قدم في الثانية	متر مربع في اليوم	جالون/يوم/قدم ²
أكثر من ٣,٠٥	أكثر من ٠,١	أكثر من ٢٤٥	٦٠٠٠
٣,٠٥	٠,١	٢٤٥	٦٠٠٠
٣,٠٥	٠,١	٢٤٠	٥٠٠٠
٣,٠٥	٠,١	١٦٣	٤٠٠٠
٣,٠٥	٠,١	١٢٢	٣٠٠٠
٢,٥٤	٠,٠٨	١٠٢	٢٥٠٠
٢,٥٤	٠,٠٨	٨٢	٢٠٠٠
٢,٠٣	٠,٠٧	٦١	١٥٠٠
٢,٠٣	٠,٠٧	٤١	١٠٠٠
١,٥٢	٠,٠٥	٢٠	٥٠٠
أقل من ١,٥٢	أقل من ٠,٠٥	أقل من ٢٠	أقل من ٥٠٠

المساحة المفتوحة:

يتوفر لدى صناع المصافي جداول توضح المساحة المفتوحة لكل قدم من المصطفة وذلك لكل قطر للمصفاة ومختلف قطر الفتحات للمصفاة . الجدول (٥) يوضح أن تقبب المصافي المستمر له مساحات مفتوحة أكبر من الفتحات المقنطرة (Bridge Slot) ، أو المصافي المحمية بغطاء Louvered أو تخريم فبريكة Mill Slotted . المساحة المفتوحة المحدودة تعيق تنمية البئر ، بما يسبب زيادة الانخفاض وزيادة تكاليف الضخ لإنتاج معين . استخدم المصافي ذات فتحات مستمرة يؤكد أقصى طاقة نوعية .

سرعة الدخول:

لقد ثبت من الاختبارات العملية والتجارب أن متوسط سرعة دخول المياه للمصفاة يجب ألا تزيد عن ٠,١ قدم في الثانية (٠,٠٣ متر في الثانية) . عند هذه السرعة الفقد بالاحتكاك في فتحات المصفاة يكون مهمل تقريباً ومعدلات تكون

توسيعات والتآكل يكون أدنى ما يمكن جدول (٦) .

متوسط سرعة الدخول يتم حسابها بقسمة إنتاج (تصرف) البئر على إجمالي مساحة فتحات المصفاة . في حالة زيادة السرعة عن ٠,٠٣ متر في الثانية فإن طول المصفاة و أو القطر سيزداد لتوفير المساحة الكافية المفتوحة لتكون ٣ سم في الثانية أو أقل . زيادة طول المصفاة في الخزان الجوفي الغير محصور قد تقلل الانخفاض ، وبذا تنخفض الإنتاجية . وعلى الجانب الآخر في حالة اختراق المصفاة لكل سمك الخزان الجوفي المحصور سيعمل ذلك على زيادة الإنتاج (طالما لا يتم سحب المياه - Not De Watered) . أحياناً يكون من الممكن تغيير خصائص تصنيع للمصفاة لزيادة المساحة المفتوحة . فمثلاً في حالة للمصفاة ذات الفتحات المستمرة يمكن خفض عرض السلك طالما تحققت خصائص القوة للسلك .

مثال : مصفاة من الصلب المقاوم ذات الفتحات المستمرة (Continuous Slot)

وبطول ٢٠ قدم وقطر ١٤ بوصة . المرص الخارجي للسلك الخارجي الملفوف المستخدم في صناعة المصفاة هو ٠,١٥٦ بوصة وقطر الفتحة الموصى به ٠,٠٥٦ بوصة لتصرف المستهدف هو ٢٠٠٠ جالون في الدقيقة .

١ - لحساب المساحة السطحية لكل قدم طولي للمصفاة :

المساحة = ٢ ط نق x (١٢ بوصة ١" قدم ") = ٢ x ١٤ x ٣,١٤ x ٧ x ١٢ = ٥٢٨ بوصة مربعة لكل قدم طولي للمصفاة .. حيث نق هو نصف قطر المصفاة .

٢ - المساحة الكلية للمصفاة بطول ٢٠ قدم = ٥٢٨ x ٢٠ = ١٠٥٦٠ بوصة مربعة .

٣ - لحساب نسبة المساحة المفتوحة للمصفاة ، طبقاً لعرض السلك المستخدم لصناعة المصفاة وقطر الفتحة المطلوب .

$$\frac{0.056}{0.156 + 0.056} = \frac{\text{قطر الفتحة}}{\text{قطر الفتحة} + \text{عرض سلك}} = \text{النسبة المئوية للمساحة المفتوحة} = 29.4\%$$

وبذا يكون ٢٩,٤% من السطح الخارجي للمصفاة مفتوح للخزان الجوفي .

٤ - لحساب كمية المساحة المفتوحة .

المساحة المفتوحة = مساحة السطح \times النسبة المئوية للمساحة المفتوحة

$$= 10560 \times 0.294 = 3105 \text{ بوصة مربعة} = 144\%$$

حيث قدم مربع = 144 بوصة مربع إذا = 21.6 قدم مربع

المساحة المفتوحة لكل قدم طولي من المصفاة = 21.6 % 20 = 1.08 قدم مربع

٥ - لحساب مرعة دخول المياه إلى فتحات المصفاة

$$Q = VA$$

حيث Q = الإنتاج (للتصرف) قدم مكعب في الثانية

V = سرعة دخول المياه بالقدم

A = المساحة المفتوحة في المصفاة بالقدم المربع

$$\frac{Q}{A} = V$$

لتحويل التصرف من جالون في الدقيقة إلى قدم مكعب في الثانية

٢٠٠٠ جالون / الدقيقة على ٧.٥ جالون في كل قدم مكعب على ٦٠ ثانية في كل دقيقة = ٤.٤٤ قدم مكعب في الثانية .

لذلك فإن سرعة دخول المياه إلى المصفاة تكون $V = \frac{4.44}{21.6} = 0.21$ قدم في الثانية .

٦ - نظراً لأن السرعة ٠.٢١ قدم في الثانية أكبر من السرعة الموصى بها ٠.١ قدم

في الثانية . لذلك فإنه يلزم إما زيادة طول المصفاة أو زيادة قطرها . في حالتنا

هذه يتوفر انخفاض لزيادة طول المصفاة بدون للتأثير على الإنتاج (التصرف) .

لحساب الطول الجديد للمصفاة ، تعين المساحة المفتوحة المطلوبة عند سرعة دخول

المياه ٠.١ قدم في الثانية . لذلك :

$$V_2 A_2 = V_1 A_1 \therefore A_2 = \frac{V_1 A_1}{V_2} = \frac{0.21 \times 21.6}{0.1} = 45.4 \text{ قدم مربع}$$

∴ المساحة المفتوحة المطلوبة = 45.4 قدم مربع .

من الخطوة رقم (٤) المساحة المفتوحة لكل قدم طولى من المصفاة = ١,٠٨

قدم مربع .

$$\text{لذلك أنقى طول مطلوب للمصفاة} = \frac{٤٥,٤}{١,٠٨} = ٤٢ \text{ قدم} .$$

٧ - البديل لزيادة المصفاة هو بزيادة للقطر مع ثبات طول المصفاة (٢٠ قدم) .

(فى حالة المصفاة قطر ٣٦ بوصة ، عرض السلك ليكون ٠,٢١٥ للمحافظة على

القوة المناسبة عندئذ تكون نسبة المساحة المفتوحة ٢٣,٢ %) .

عند استخدام مصفاة بطول ٢٠ قدم وقطر ٣٦ بوصة فإن سرعة دخول المياه تكون:

$$\text{المساحة} = \frac{١٢ \times ٢٠ \times ٣٦ \times ١,١٤}{١,٠٨} = ١٨٨ \text{ قدم مربع}$$

$$\text{المساحة المفتوحة} = ٠,٢٣٢ \times ١٨٨ = ٤٣,٦ \text{ قدم مربع}$$

$$\therefore \text{السرعة} = \frac{Q}{A} = \frac{٤,٤٤}{٤٣,٦} = ٠,١ \text{ قدم فى الثانية} .$$

ولكن هذا التصميم قد لا يكون مناسباً لمصفاة بطول ٢٠ قدم وقطر ٣٦ بوصة

وذلك لأن القيسون سيكون كبيراً أكثر من المطلوب وهذا سيزيد من تكاليف قطر الحفر .

والبديل هو اختيار مصفاة ذات نسبة فتحات أكبر من ٢٣,٢ % .

الحالة السابقة تفترض أن الطلمبة موضوعة مباشرة فوق المصفاة (وهى

الحالة العادية) وهذا يجعل الفقد فى الضغط للمياه للصاعدة خلال المصفاة صغير جداً .

ولكن فى حالة وجود ماسورة صاعدة (Riser Pipe) بين المصفاة والطلمبة سيحدث فقد

فى الضغط إذا زادت سرعة المياه فى المصفاة والماسورة الصاعدة عن ٥ قدم فى

الثانية (١,٥ متر فى الثانية) .

إمكانات النقل للمصفاة : (Screen Translmitting Capacity)

معظم صناعات المصفاة يوفر الجداول التى توضح للمساحة المفتوحة لكل قدم

من المصفاة وذلك لكل قطر للمصفاة وبالنسبة لعرض الفتحات المختلفة كذلك . طاقة

النقل لمصفاة البئر التي يعبر عنها بالجالون في الدقيقة لكل قدم طولي من المصفاة ، يتم حسابها بسرعة من الأشكال للمساحة المفتوحة عند سرعة الدخول الموصى بها ٠,١ قدم في الثانية .

عند ضرب عدد البوصات المربعة للمساحة المفتوحة كما في الجدول (Q) في معامل ٠,٣١ يعطى إمكانات النقل للمصفاة عند سرعة ٠,١ قدم في الثانية . وحددت معامل التحويل ٠,٣١ نتيجة توصيف سرعة الدخول (V) ٠,١ قدم في الثانية في المعادلة $AV = Q$.

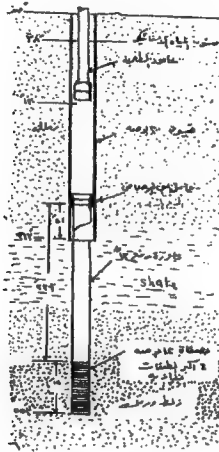
فمثلاً : المساحة المفتوحة لمصفاة جونسون ذات الفتحة المستمرة قطرها ٨ بوصة وذات ثقب بقطر ٠,٠٦٠ بوصة هو ١٣٥ بوصة مربعة / القدم الطولي من المصفاة .

إمكانية النقل يتم حسابها بضرب ٠,٣١ في المساحة المفتوحة للمصفاه (٠,٣١ \times ١٣٥) = ٤٢ جالون في الدقيقة (القدم) . عشرة أقدام من هذه المصفاه سوف تنقل ٤٢٠ جالون في الدقيقة بسرعة دخول ٠,١ قدم في الثانية . يجب معرفة أن طاقة النقل لمصفاه البئر هي خاصية هيدروليكية للمصفاه نفسها عند سرعة دخول معينة وليست قياس لقدرة إنتاج للتكوينات من التربة الحاملة للمياه التي تم تركيب المصفاه فيها .

عادة يستخدم في الآبار مصافى ذات فتحات مستمرة ذات قطر أصغر من قطر القيسون كما في الشكل (١٠-٩) الذي يبين مثال لاستخدام مصفاه البئر ذات قطر أقل من قطر القيسون بعدة بوصات وذات كفاءة مناسبة . للتصرف المتوقع لأكثر من ١٨٠٠ جالون في الدقيقة يتطلب استخدام قيسون بقطر خارجي ٢٠ بوصة (جدول ١) لتوفير الفراغ اللازم للطلبه . مصفاه بقطر ١٢ بوصة ستوفر مساحة كافية بما يحقق عدم زيادة سرعة دخول المياه من ٠,١ قدم في الثانية عند الضخ للبئر بمعدل ٣٠٠٠ جالون في الدقيقة .

عندما يكون من الضروري وضع الطلمبة خلال المصفاة أو وضعها خلال الماسورة التي توصل مقطعين للمصفاة ، يتم اختيار قطر المصفاة من الجدول (٥) .

أى مقطع للمصفاة أسفل مكان وضع الظلمة يمكن أن يكون بقطر أقل شريطة أن تتحقق سرعة دخول مياه إلى المصفاة .



شكل (١٠-٩) بئر مصمم بقطر مصفاة أصغر من قطر القيسون

اختيار مادة الصنع للمصفاة : SelectionOf Material

يتحكم فى إختيار مادة الصمغ للمصفاة ثلاث أشياء هى :

- (١) الأملاح المذابة
- (٢) وجود تجمعات بكتيرية
- (٣) إحتياجات القوة للمصفاة

يمكن التعرف على الأملاح المذابة فى المياه الجوفية بالتحاليل المعملية .

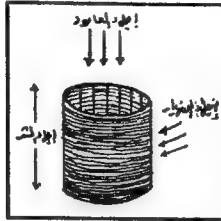
وبدراسة هذه التحاليل يمكن التعرف على عدوانية المياه (Corrosive) ، أو قابليتها

لإحداث ترسيبيات (Tncrusting) . فى بعض الحالات يمكن أن تسبب هذه الأملاح المذابة كلا من التآكل والترسيبات .

المياه العدوانية : تآكل المصفاة يمكن أن يسبب تلف للبئر أكثر مما يحدثه تآكل للقيسون . إتساع فتحات المصفاة الذى يكون نتيجة إزالة بعض على ألف من البوصة من المعدن يمكن أن يسمح بدخول كميات زائدة من الرمال بدخول البئر . وعلى الجانب الآخر يمكن أن يزيل التآكل من $\frac{1}{8}$ إلى $\frac{1}{4}$ بوصة من جدار القيسون حيث يظل سمك جدار غير كافى لمنع التتمير والإنهيار (collapse) للبئر أو دخول مياه ملوثة أو غير مرغوب فيها . لذلك يكون من الضرورى استخدام مصفاة البئر مصنوعة من معدن مقاوم للتآكل .

الحالات التالية توضح الظروف العدوانية للمياه :

- ◆ الرقم الهيدروجينى أقل من ٧ تكون المياه حامضية وتتوفر الظروف العدوانية
- ◆ الأكسجين للمذاب أكثر من ٢ جزء فى المليون يجعل المياه عدوانية
- ◆ كبريتيد الهيدروجين أقل من ١ جزء فى المليون يجعل المياه عدوانية
- ◆ الأملاح الكلورية المذابة أكثر من ١٠٠٠ جزء فى المليون تنشط التآكل للكروكيميائى وتجعل المياه عدوانية . ولذلك يفضل أن تكون المصفاة من معدن ولحد مقاوم للتآكل.
- ◆ كما يتوقع حدوث التآكل فى حالة زيادة ثالى أكسيد الكربون المذاب عن ٥٠ جزء فى المليون ، وكذلك فى حالة زيادة أملاح الكلوريدات عن ٥٠٠ جزء فى المليون .
- ◆ وجود أى عاملين من عوامل تنشيط التآكل يزيد من عدوانية المياه .



شكل (٩-١١) كسل المصفاة لها إجهاد شد ، انهيار ، عامود طبقاً لمادة الصنع للمصفاة (بلاستيك ، صلب ، ... الخ) وطبقاً لنظام التخريم (مستمر ، مقنطر ، تخريم فبريكة ... الخ) عناصر الإنشاء للمصفاة ذات التخريم المستمر يتم اختيارها لمقاومة الإجهادات للثلاث . على المصفاة أثناء الإنشاء وأثناء التشغيل للبئر . إجهاد العمود وإجهاد الشد المطلوب أثناء إنشاء البئر يتوفر بالأسياخ الطويلة . شكل وكثافة السلك الملفوف يوفر مقاومة الانهيار للآزم أثناء التنمية والاستخدام المستمر للبئر .

المياه التي تحدث ترسيبات *incrusting water*

بعض المياه التي تحدث ترسيبات على سطح المصفاة وفي مسام التربة خارج المصفاة والملاصقة لها . هذه الترسبات تحدث إنسداد في فتحات المصفاة وفي مسام التربة . هذه الترسبات تزال عادة بوضع حامض قوى (مثل حامض الهيدروكلوريك) في البئر الذي يذيب هذه الترسبات . ولذلك يلزم في مثل هذا النوع من المياه وضع المصفاة من مادة مقاومة للتآكل لتحمل تأثير المعالجة بالحامض .

توجد في بعض المياه الجوفية نوع من البكتريا الذي يسمى البكتريا المؤكسدة للحديد (*IronOxidising Bacteria*) . رغم أنها غير ضارة بالصحة إلا أنها تسبب انسداد في مسام التربة وفي فتحات المصفاة . هذه البكتريا تنتج ترسبات من مواد جيلاتينية وتؤكسد الحديد والمنجنيز حيث يمكن حدوث إنسداد كامل للبئر في وقت قصير . فقد ثبتت في بعض الحالات انخفاض إنتاجية البئر بنسبة ٧٥ % في فترة من ثلاثة أشهر

حتى عام.

المعالجة المؤثرة فى هذه الحالة هو باستخدام محلول كلور قوى نسبيا الذى يقتل للبكتريا . بلى ذلك يستخدم محلول حامض الهيدروكلوريك لإذابة الحديد والمنجنيز المترسب ثم إزالة هذه الترسبات من المنطقة المحيطة بمصفاة البئر بالضخ . ونظراً لاستخدام الأحماض العدوانية فإنه يلزم تركيب مصفاة من مادة مقاومة للتآكل .

قوة المصفاة (screen strength)

يبنى إختيار معدن المصفاة أحيانا على أساس قوة التحمل . الأحمال التى تتعرض لها المصفاة غالبا هما أحمال العمود (Column Load) وهو ضغط رأسى وضغط الإنهيار (Collapse pressure) وهو ضغط أفقى وضغط الشد شكل (١١-٩) . عند الإنشاء يكون قطر الحفر مفتوح حيث للمصفاة مثبتة فى القيسون مباشرة بما يجعلها تتحمل الوزن الكلى للقيسون وهذا الحمل هو حمل العمود على المصفاة . حمل للشد (tensile load) يحدث على المصفاة عند إنشاء مقاطع طويلة من المصافى والقيسونات . فإن للمصفاة يجب أن يتوفر لها إجهاد الشد الكافى لتحمل مؤقتا أى مصافى أو قيسونات معلقة أسفلها . وبعد إتصاق مادة الحفر بالمصفاة فإن ضغط التربة يسبب إجهادات أفقية على المصفاة وخاصة أثناء التتمة (Derelopment) . يجب أن يتوفر لدى المصفاة مقاومة الإنهيار لتحمل ضغط التربة والضغط الهيدروليكي . معظم حالات انهيار المصفاة تحدث أثناء الإنشاء ، أثناء وضع التحشيه للزلطية وأثناء التتمة .

مقاومة المصفاة لكل من حمل العمود وضغط الإنهيار يتناسب مع معامل اللدونة (modulus of Elasticity) لمادة صنع المصفاة . ولذلك فإن المصفاة المصنوعة من الصلب المقاوم حيث معامل اللدونة 610×10^3 رطل على البوصة المربعة لها ضعف قوة المصفاة المصنوعة من سبيكة النحاس (Everdur) حيث معامل اللدونة 15×10^3 رطل على البوصة المربعة وذلك عند استخدام مصافى بنفس الأبعاد والظروف . وليس من الضروري المبالغة فى قوة تحمل المصفاة نظرا لأن ذلك يقلل المساحة

المفتوحة لها . الغرض من المصفاة هو السماح بدخول المياه مع أقل فقد بالإحتكاك .
يجب أن يتوفر لدى المصفاة قوة التحمل لمقاومة القوى المعرضة لها وفي نفس الوقت
لكصى مساحة مفتوحة تتناسب مع متطلبات التحمل .
تصنع المصافي من معادن ومبائك مختلفة . للجدول (٧) يوفر دليل لاختيار المعدن
والأسعار النسبية ومقاومة للتآكل .

جدول (٧) معادن مصافي الآبار ومقترحات الاستخدام

المعدن أو السبيكة	المكونات	معامل السعر	مقترح الاستخدام
مونيل (Monel)	٧٠ % نيكل	١,٨	تركيزات عالية من مركبات
م	٣٠ % نحاس	م	الصوديوم والأكسجين المذاب
صلب مقاوم	٧٤ % حديد (صلب)	١	كما في حالة مياه البحر
م	١٨ % كروم	م	كبريتيد الهيد
م	٨ % نيكل	م	
إلبرودور	٩٦ % نحاس	١	
(Everdur)	٣ % سيليكون	م	
م	١ % منجنيز	م	
صلب مجلفن	٩٩ % حديد	٠,٥	
	٠,٧ % كربون		
	٠,٣ % منجنيز		

المصافي من مادة البلاستيك تكون عادة من مادة الببي في سي (PVC) رقم
جدول ٤٠ ، ٨٠ أو ذات نمية أبعاد قياسية ٢١ (SDR) (Standard Dimention Ratio)
وهو للنمبة بين متوسط السمك الخارجى للماسورة مقسوماً على أدنى سمك لبطن
للماسورة (وضغط الاختبار لا يقل عن ١٤ كج / سم^٢ ، ٢٠٠ رطل / البوصة
المربعة للماسورة بنون فتحات للمصفاة) .

تصميم النحشية الزلزالية [الظهير الزلزالي] : Gravel Pack Design

يختلف البئر المزود بالنحشية الزلزالية عن التنمية الطبيعية في أن المنطقة المحيطة بالمصفاة مباشرة تصبح أكثر نفاذية نتيجة إزالة مادة التربة واستبدالها بمواد زلزالية متدرجة . في التنمية الطبيعية للبئر يتم إزالة المواد الرفيعة في التربة المحيطة بالمصفاة وإيجاد منطقة أكثر نفاذية . في كلا الحالتين فإن النتيجة هي زيادة القطر المؤثر للبئر من الناحية الهيدروليكية .

في التنمية الطبيعية للبئر ، تم توضيح أنه يتم اختيار قطر فتحات المصفاة لتحجز ٤٠% من التربة الطبيعية وتسمح بمرور ٦٠% أثناء عملية التنمية . في حالة البئر بالنحشية الزلزالية يتم اختيار تدرج الزلاط الذي يحجز كل مكونات مادة التربة ، عندئذ يتم اختيار فتحات المصفاة التي تحتجز الزلاط . في كثير من الحالات يفضل استخدام النحشية الزلزالية في تصميم البئر حيث تناقش في الحالات الآتية :

- الرمل الرفيع المنتظم (Fine Unifor Sand) : في هذا النوع من التربة يتم عمل النحشية الزلزالية حيث تستخدم فتحات للمصفاة كبيرة ، وبالتالي تكون المساحة المفتوحة في المصفاة كبيرة . نسبة المساحة المفتوحة من خصائص المصافي ذات الفتحات الصغيرة . في حالة اختيار الفتحات على أساس بئر تنمية طبيعية أقل من ٠.٠١ بوصة (فتحة رقم ١٠) ، في هذه الحالة يجب عمل النحشية الزلزالية .

- خزان جوفي إرتوازي سميك : في هذا النوع من الخزانات الجوفية حيث تستخدم مصفاة طويلة وحيث توضع الطلمبة فوق مصفاة البئر ، يمكن وضع مصفاة ذات قطر صغير في منتصف فتحة البئر مع ملئ الفراغ المحيط بالزلاط . وهذا يفضل عن استخدام مصفاة قصيرة وذات قطر يساوي قطر الحفر للبئر .

- حجر رملي ملتصق إلى حد ما : Loosely Cemented Sand Stone
توجد كثيراً من الخزانات الجوفية من الحجر للرملي ضعيفة التماسك . في حالة تنفيذ بئر بقطر الحفر فقط فإن حبيبات الرمل تتمرب من الحوائط بما ينتج عنه ضخ للرمال .

والسبب الثاني لعمل التحشية الزلزالية في حالة الخزائن الجوفية من الحجر الرملي ضعيف التماسك هو أن مادة التربة عادة لا توفر السند الجانبي للمصفاة . فالتربة لا تتشكل بسرعة حول المصفاة أثناء للتنمية مثل ما يحدث في التربة الرملية المتجانسة . قد توجد كتل غير متماسكة بين المصفاة وحائط الحفر ، وهذا يوجد احتمال سقوط قطع من الحجر الجيري على المصفاة وإتلافها في أى وقت . في حالة وضع مواد زلزالية محببة بين المصفاة والحائط فإنه يؤمن للمصفاة ضد عدم انتظام قطر الحفرة بالإضافة إلى أنه سائد للحائط ويوفر سند جانبي للمصفاة للشكل (١٢-٩) يوضح تفصيلات بئر مجهز بالتحشية الزلزالية (الظهير الزلزالي) .

التربة ذات الطبقات الغير ملجانسة :

(Extensively Laminated Formations)

بعض الخزانات الجوفية تتكون من طبقات من مواد ناعمة ومواد خشنة بالتبادل . يكون في هذه الحالة من الصعب التحديد بدقة لموقع وسماك كل طبقة على حدة ولختيار الطول المناسب لكل مقطع من المصفاة للمصفاة متعددة الأقطار الثقوب المقابل لعدم التجانس . في هذه الحالة يكون من المفضل تجنب الأخطاء وذلك بتصميم البئر بالتحشية الزلزالية حول الجدار الخارجي للمصفاة (الظهير الزلزالي) .

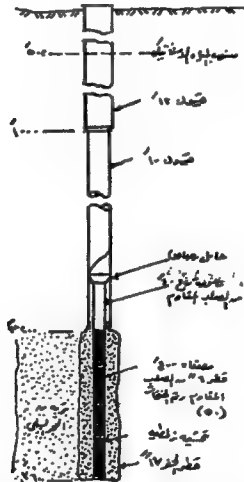
تدرج التحشية الزلزالية يبنى على أساس الطبقة ذات المواد الرفيعة في الجزء من التربة الحامل للمياه . في اختيار التحشية الزلزالية على هذا الأساس فإنه لا تحدث إعاقة للتدفق من الطبقات ذات للمواد الخشنة نظراً لأن نفاذية التحشية الزلزالية ستكون عدة أضعاف نفاذية للتربة الخشنة .

مرحلة تصميم الظهير الزلزالي للمصفاة : Gravel Pack Graduation

الآتى بعض المراحل للنموذجية لتصميم الظهير الزلزالي :

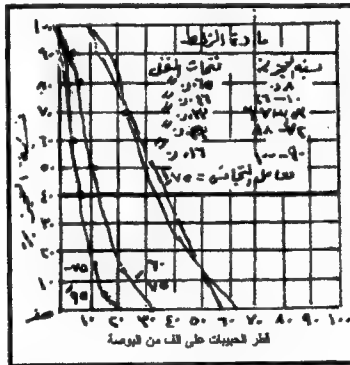
١ - توسيع منحنيات تحليل المنخل (Selve Analysis) لكل طبقات التربة المكونة للخزان الجوفى . يتم تحديد الطبقة من التربة التى تتكون من الرمال للرفيعة جداً

ثم يتم تدرج لعينتين من المواد الحاملة للمياه التي تكون ٣٠ قدم سمك الخزان الجوفى (٩,١ متر) . المادة للرفيعة جداً تقع ما بين ٧٥ إلى ٩٠ قدم . تصميم الظهير الزلزلى فى هذا المثال سيتم بناؤه على أساس هذه الطبقة فى بعض الحالات يكون من المفضل إهمال الجزء الغير مستحب للخزان الجوفى مع استخدام ماسورة عمياء بين مقاطع المصفاة الموضوعين فى أفضل أجزاء الخزان الجوفى نفاذية .



شكل (١٢-٩) تصميم التغطية للازطية لمضخ فى الآبار فى الخزانات الجوفية من الحجر الرملى
٢ - بضرب ٧٠ % قطر الحبيبات المحتجز للرمال بمعامل بين ٤ و ١٠ . يستخدم
للمعامل من ٤ إلى ٦ للضرب فى حالة تجانس الخزان الجوفى ونسبة قطر

الحبيبات المحتجز بنسبة ٤٠ % يكون ٠,٠١ بوصة (٢,٥ ملليمتر) أو أقل . يستخدم المعامل ٦ إلى ١٠ للضرب للخزانات للشبة متجانسة أو الغير متجانسة عندما يكون مواد التربة غير متجانسة للتدرج وتحتوى على طفلة كما فى حالة المناطق الجافة وشبه الجافة. يستخدم للمعامل ١٠ للضرب فى حالة البئر الذى يضخ الرمال . ضع نتائج حاصل للضرب على المخطط كنسبة ٧٠ % محتجز من الزلط . فى الشكل (٩-١٣) بوصة (٠,١٣ ملليمتر) هو ٧٠ % قطر الرمال بين ٧٥ و ٩٠ قدم . بالضرب فى المعامل ٥ فإن قطر الحبيبات الزلطية يكون $٥ \times ٠,٠٠٥ = ٠,٠٢٥$ بوصة ($٠,١٣ \times ٥$ ملليمتر = ٠,٦٥ ملليمتر) . هذه أول نقطة على المنحنى التى تمثل للتدرج لمادة الظهير الزلطى (مادة الترشيح) .



شكل (٩-١٣) منحنيات قطر الحبيبات لرمال الخزانات الجوفى والمنحنى المقابل للاختيار المناسب لمادة الظهير الزلطى

- ٣ - خلال النقطة الأولى على منحنى الظهير الزلزالي ، يتم رسم منحنى رقيق يمثل المادة بمعامل تجانس ٢,٥ أو أقل (انظر ٥ معنى معامل التجانس) . يجب عمل ذلك في عدة محاولات . في الشكل (١٣-٩) للمنحنى المرسوم كخط مستمر له معامل جانس (Uniformity Coefficient) حوالي ١,٨ . يمكن رسمه بطريقة مختلفة كما في الخط المتقطع حيث معامل التجانس له هو ٢,٥ . يكون من المفضل رسم منحنى الظهير الزلزالي ليكون متجانس ما أمكن (معامل تجانس منخفض) . لهذا فإن المادة الموضحة بالمنحنى المستمر أفضل من الموضحة بالمنحنى المتقطع .
- ٤ - يتم اختيار مواصفات الظهير الزلزالي من المصادر التجارية التي تتوافق مع الأبعاد والخصائص الكيميلوية الموضحة في الجدول (٢١) . وفي حالة عدم توفير هذه المواصفات من المصادر التجارية مع توفر مصدر محلي من الزلاط والرمل ، يمكن كبديل اختيار قطر فتحات المصفاة التي تحجز ٩٠ % أو أكثر من المادة الزلزالية . في هذا المثال يكون القطر الصحيح .

جدول (٨) خصائص الظهير الزلزالي وميزاته :

الخصائص	المزاي
اللزطية	تفقد القليل من المادة أثناء التنمية مع زمن تنمية أقل .
مميزات تامة الاستدارة	توصيل هيدروليكي عالي ونفاذية عالية
٢	الإنخفاض قليل
٣	الإنتاج عالي
٣	التنمية مؤثرة لكثير
حبيبات كوارتز ٩٠ - ٩٥ %	لا يوجد فقد في الحجم بسبب إزبة أملاح
معامل للتجانس ٢,٥ أو أقل	خفض للفصل أثناء الإنشاء
	تفقد في الضغط منخفض خلال الظهير الزلزالي

- ٥- معامل للتجانس يعبر عن التدرج في قطر المادة الزلزالية وهو النسبة ما بين فتحة المختل التي يحتجز عندها ٤٠ % من وزن العينة إلى فتحة المنخل التي يحتجز عند ١٠ % من وزن العينة (الأخير يسمى للقطر المؤثر) . فإذا كانت فتحة

المنخل لحجز ٤٠% من وزن العينة ٠,٠٤٦ بوصة ، قطر الفتحة لحجز ١٠ % ،
 ٠,٠٢٣ يكون معامل التناقص = $\frac{0.046}{0.023} - 2$ هو ٠,٠٢ بوصة .

فى حالة اتباع مصمم البئر الخطوات السابقة بحرص يمكن تجنب ضخ الرمال من البئر نظراً لأن التصميم مبنى على النسبة ما بين قطر الحبيبات للتربة وقطر الحبيبات للظهير الزلطى . المادة الزلطية ذات النسبة الملائمة لقطر الحبيبات توفر حجز ميكانيكى لرمال التربة ومنع الرمال من التحرك إلى الظهير الزلطى وإلى البئر .
سمك طبقة الظهير الزلطى :

نظراً لأن نظرية تصميم التدرج للظهير الزلطى مبنية على الحجز الميكانيكى لحبيبات التربة . فإن المطلوب حقيقة لحجز والتحكم فى رمل التربة هو سمك محدود ضعف أوثلاثة أضعاف قطر الحبيبات . ثبت من التجارب العملية أظهرت أن سمك الظهير الزلطى بجزء من البوصة يحجز بنجاح حبيبات للتربة بصرف النظر عن سرعة المياه التى تعمل على حمل الحبيبات خلال الظهير الزلطى . لتأكيد إحاطة المصفاة بطبقة من الظهير الزلطى لذلك لا يقل السمك عن ٣ بوصة الذى يعمل به فى الموقع .

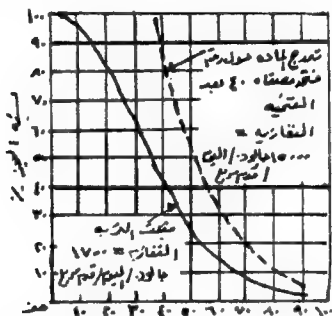
وفى معظم الحالات لا يزيد السمك للظهير الزلطى عن ٨ بوصة . زيادة السمك لا يعمل على زيادة الإنتاج للبئر . ولا يعمل السمك لخفض احتمالات ضخ الرمال نظراً لأن العامل المتحكم هو نسبة قطر حبيبات الظهير الزلطى إلى مادة التربة.

زيادة السمك للظهير الزلطى يمكن أن يزيد من صعوبة التنمية النهائية (Final Development) .

فى الواقع فإن سمك طبقة الظهير الزلطى يرتبط بقطر الحفر للبئر وقطر المصفاة . ويرتبط قطر الحفر طبقاً لقطر القيسون كالتالى (جدول ٩) .

جدول (٩) قطر الحفر المقابل لقطر القيسون

قطر القيسون	قطر الحفر
٦	٨
٨	١٢
٩	١٣
١٢	١٧
٢٠	٢٦



شكل (٩-١٤) منحني قطر الصهبات لمثلث التربة والمنحني المقابل للجزء الغش من هذه المادة التي تطل في مكافئها حول مصفاة البئر بعد تنمية البئر

ومن الجدول (٩) حيث قطر القيسون ١٢" فإن قطر الحفر هو ١٧" ونظراً لأن قطر المصفاة ٦٠" سيكون سمك الظهير الزلطي $(17 - 6) \div 2 = 5.5$ بوصة .

تثبيت التربة : Formation Stabilizer

في حالة حفر البئر بطريقة البريمة الهيدروليكية (Hydraulic Rotary) وللمساعدة في إستكمال التنفيذ للبئر بالتنمية الطبيعية ، يتم ملأ الفراغ المحيط بالمصفاة

بالرمل الخشن التنظيف أو بخلط من الرمل الخشن والزلط . وقد استخدم تعبير تثبيت التربة لوصف مادة الملى لهذا الغرض . وهذا التعبير لوصف مادة تختلف عن المادة الأكثر تجانساً (more Uniform) المستخدمة كظهير زلطى حول المصفاة . تثبيت التربة قد يشمل على مجال كبير من حجم الحبيبات .

لثناء الحفر فى التربة الحاملة للمياه بطريقة البريمة (Rotary Method) ، يكون من الضرورى عمل قطر التخريم أكبر من القطر الخارجى لقطر المصفاة وقطر القيسون . وهذا يوفر فراغ كافى لتكوين المصفاة بسهولة . يستخدم لتثبيت التربة مخلوط من الرمل له تدرج مثل التربة الحاملة للمياه أو أكثر خشونة وهذا يعتبر أفضل مثبت .

نظراً لأن فتحات مصفاة البئر يتم اختيارها لتسمح بالتنمية الطبيعية لمواد التربة الحاملة للمياه حول المصفاة كما لو لم يستخدم مثبت للتربة . فإن الرمال الرفيعة (Fines) لمواد تثبيت التربة وكذلك الحبيبات الرفيعة من التربة يتم سحبهم معاً خلال المصفاة أثناء عملية التنمية .

وضع مثبت التربة Placing Formation Stabilizer

يجب أن تكون كمية مثبت للتربة كافية لملئ الفراغ حول المصفاة وقيسون البئر لمستوى ٣٠ قدم أو أكثر فوق قمة المصفاة . سوف يحدث استقرار وتنظيم للتربة كبير نظراً لأن جزء من مثبت التربة سوف يمر خلال فتحات المصفاة أثناء عملية التنمية للبئر .

سحب الأجسام الرفيعة من مثبت التربة وفى نفس الوقت إزالة الأجسام الرفيعة من التربة الطبيعية يساعد إلى حد كبير فى تكسير طبقات الطفلة (Mud Cake) من جدار قطر التخريم فى منطقة مصفاة البئر .

عملية التنمية تعمل على تحريك جسيمات مثبت للتربة ، وهذه الحركة للمادة تعمل على إزالة الطفلة التى تكونت أثناء عملية الحفر مع حدوث استقرار . إزالة الجسيمات الرفيعة من كل من مثبت التربة والتربة الحاملة للمياه يزيد من نفاذية

لظهير من المواد الخشنة التي تم تثبيتها حول المصفاة . طبقاً لاختبارات عينات مادة للخرزان الجوفى استخدم فى تربة الخزان الجوفى مصفاة ذات فتحات رقم ٤٠ . من المنحنى اليسار فى الشكل (٤ - ٩) يلاحظ أن الفتحة رقم ٤٠ ستسمح بمرور ٦٠ % من مثبت للتربة خلال المصفاة أثناء عملية للتنمية .

نفذاية مثبت التربة للموضحة بهذا المنحنى هي ١٧٠٠ جالون / اليوم / قدم مربع . بعد إزالة الأجسام الأصغر من ٠,٠٤٠ بوصة تغير التدرج إلى الموضح بالمنحنى اليمين من الشكل (٤ - ٩) . وهذا زاد النفذاية إلى ١٥٠٠٠ جالون / اليوم / قدم مربع - حوالى ٩ أضعاف للقيمة الأصلية . مثبت التربة الموضح فى الشكل (١٤ - ٩) هو عبارة عن خرسانة أو مونة أسمنتية بالرمل الخشن . وهذا النوع من الرمل الخشن مناسب للاستخدام تحت ظروف كثيرة من حالات التربة . يكون من المناسب ملأ المادة عندما تكون للرمال الحاملة للمياه تتطلب فتحات مصفاة للبئر صغيرة مثل رقم ٢٠ (٠,٠٢٠ بوصة) . وكذلك تكون كافية عندما تكون التربة الحاملة للمياه بالتدرج الذى يتطلب استخدام فتحة مصفاة رقم ٥٠ (٠,٠٥٠ بوصة) .

تصميم الآبار الصغيرة Design of Small Wells

كثير من الخصائص التصميمية التى تم مناقشتها عن الآبار ذات الطاقة الكبيرة والكفاءة العالية المستخدمة للأغراض المنزلية والصناعية والرى تنطبق على الآبار الصغيرة . اختيار فتحات المصفاة ومواد الصنع للمصفاة وسرعة دخول المياه ينطبق كذلك . نظراً لإنشاء آلاف الآبار سنوياً لخدمة مجتمعات سكنية صغيرة أو مساحة زراعية محدودة حيث احتياجات الماء الكلية حوالى من ١٠٠ إلى ١٥٠ لتر فى الدقيقة . طبقاً لهذه الاحتياجات فإن استخدام مصفاة طويلة فى الخزانات الجوفية السميكة يكون غير اقتصادى.

فى حالة التصرفات الصغيرة . لا توجد قاعدة محددة لتعيين واختيار طول المصفاة ولكن فى دراسات حقلية أمثلة مختلفة نحو استخدام المصفاة القصيرة فى حالات معينة يوضح المبادئ العامة .

فى الحالة الموضحة فى الشكل (١٥-٩ أ) طول المصفاة لبئر صغير يكون طولها لا يقل عن ثلث سمك طبقة الرمل للخن . وفى الحالة الموضحة فى الشكل (١٥-٩ ب) والشكل (١٥-٩ س) فإن طول المصفاة يكون تقريباً بكل سمك طبقة الرمل للخن . وفى حالة عدم تحقيق المصفاة بهذا الطول للتصرف المطلوب لعدم توفر المساحة المفتوحة الكافية للمصفاة فإن المصفاة يتم امتدادها لمسافة قصيرة إلى منطقة الرمل للناعم إلى أعلا .

فى حالة إنشاء بئر فى خزان جوفى موضع فى الشكل (٥٣ - ج) يتم تنفيذه فى الطبقة العميقة للرمل للخن فقط . ويكون طول المصفاة تقريباً نصف سمك طبقة الرمل للخن ولا توجد حاجة لامتداد للمصفاة إلى أسفل نحو الرمل للناعم . ورغم ما تم توضيحه من عدم استخدام مصفاة طويلة فى الآبار الصغيرة لعدم اقتصادياتها ، ولكن يلزم للتأكيد على توفير مثل هذه الآبار بالمصفاة ذات الطول الصحيح لتأكيد الطاقة الكافية المطلوبة .

وخاصة أن لاحتياجات المياه تزداد . زيادة إنتاجية (تصرف) للبئر يمكن زيادتها بزيادة طول المصفاة على شريطة أن المياه تسحب من تربة رملية مشبعة ذات سمك مناسب . فمثلاً مصفاة بطول ٣ قدم عند استخدامها بدلاً عن مصفاة بطول ٢ قدم يمكن من ضخ ٥٠ % زيادة من المياه مع نفس الانخفاض مع الفترض أن سمك الخزان الجوفى ٧ - ٨ قدم . مصفاة بئر بطول ٤ قدم فى نفس هذه الظروف سينتج تصرف مياه بزيادة الثلث عن حالة البئر بمصفاة طولها ٣ قدم .

يجب أن نعرف أن زيادة طول المصفاة أينما أمكن سوف يحسن من تصرف البئر إلى درجة كبيرة عن زيادة للقطر .

التصميم للحماية من التلوث : Design For Sanitary Protection

نظراً لعدم انتظام استقامة أجناب الحفر للبئر ولكون قطر الحفر بالضرورة يجب أن يكون أكبر من قطر الماسورة المستخدمة كتيوسون ، لذلك توجد فراغات حول القطر الخارجى للتيوسون مهما تكن طريقة الإنشاء . يمكن للمياه الملوثة من الصرف

السطحي أو من السطرية غير تربة الخزان الجوفى المزود خلال تقوب التآكل فى المصفاة حيث تتحرك إلى أسفل خلال هذه الفراغات . وهذا يلوث المياه المنتجة من البئر . الشكل (١٦-٩) يبين حالات تلوث المياه فى الخزان الجوفى وفى البئر . لذلك وكقاعدة عامة يجب سد الفراغ خارج القيسون ضمن خطة تصميم البئر . عملية حجز المياه حول المحيط الخارجى للقيسون تتم حتى للعمق الأمن إما عند الوصول إلى طبقة صماء التى تعلو الخزان الجوفى أو حتى الوصول إلى منسوب الضخ فى هذه الحالة ومع اتباع قواعد أخرى يمكن حماية المياه المنتجة من البئر من التلوث البكتريولوجى وخاصة بالنسبة للخرانات الجوفية من التربة الرملية الحاملة للمياه .

بالإضافة إلى الظواهر الهيدروليكية التى نوقشت فإن تصميم البئر لإنتاج مياه للشرب والمحافظة المستمرة على الحماية من التلوث يجب أن تؤخذ الإجراءات الآتية: أولاً : الإجراء الأول هو أننى عمق لقيسون البئر الذى يوفر منع للتسرب للمياه حول محيطه الخارجى .

ثانياً : هو تركيب القيسون بإحكام ليمنع دخول المياه مع العزل الخارجى للحماية من التآكل وإحداث تقوب فى القيسون .

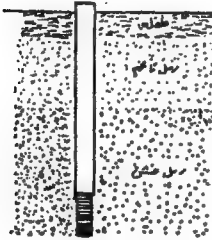
عند تصميم البئر فى خزان جوفى رملى يلزم توفير قيسون محكم ضد تسرب المياه ممتد إلى عمق ٥ قدم أو أكثر تحت أننى منسوب متوقع للضخ . عندما يكون منسوب الضخ أقل من ٢٥ قدم من سطح الأرض فإن القيسون يجب أن يمتد إلى ١٠ قدم أسفل منسوب الضخ . الاستثناء فى هذه الحالة هو عند وجود الخزان الجوفى من السطرية الرملية الغير سميكة محصور أسفل طبقة سميكة من الطلقة أو أى مادة صماء شكل (١٧-٩) .

الآبار التى تضخ مواد من الحجر الرملى يتم تصميمها بقيسون مانع لنفاذ المياه ممتد إلى عمق كبير تحت منسوب سطح الأرض وأسفل أى تكوينات حتى الوصول إلى المنطقة للصخرية (شكل ١٧-٩ ب) . فى حالة وجود صخور متشققة فوق طبقة الحجر الرملى فإن القيسون يجب أن يمتد إلى ١٥ قدم أو أكثر فى الحجر

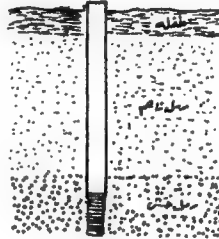
الرملى وذلك مع العزل بطبقة من المونة الأسمنتية (Grouting) حول المحيط الخارجى للقيسون وبكامل استطالته (مادة التحشية (Grouting) تتكون من المونة الأسمنتية بنسبة ٢٥ لتر ماء لكل شيكارة أسمنت مضاف إليها ٣ - ٤ كيلو جرام بنتونيت الذى يعمل على عدم ترسيب الأسمنت (تصمم الآبار المنتجة لمياه الشرب من خزان جوفي من الصخور المتشققة بقيسون مانع لِنفاذ المياه وممتد إلى عمق كبير أسفل سطح الأرض وأسفل أى تكوينات صخرية نتيجة للرمال الصخرية التى يمكن وجودها فى المحيط القريب من البئر . الهدف هو سحب المياه من أقصى عمق للخران الجوفى . زيادة مسافة التسرب توفر الحماية الطبيعية لنوعية المياه . للتكوينات الصخرية ذات التشققات والفتحات الكبيرة فرصة للتنقية الطبيعية للمياه فيها ضعيفة مثلما يحدث فى حالات تحرك المياه الجوفية فى تربة حاملة غير صماء . يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عن التصميم للبئر التحشية الأسمنتية (Grouting) حول قيسون البئر من سطح التربة حتى العمق المناسب. وهذا يتطلب قطر حفر أكبر من قطر القيسون إلى العمق المطلوب لتوفير فراغ حول قيسون البئر لوضع مادة التحشية الأسمنتية (Fluid Grout) حول ماسورة القيسون . إن ظهور الملوثات فى المياه يرجع إلى عدم لحام الفراغ حول القيسون وهذا ما أثبتته الخبرة وذلك رغم ما يتم من احتياطات على السطح العلوى وزيادة عمق القيسون . وخاصة فى حالة الآبار فى الخزانات الجوفية حيث التربة الرملية الحاملة للمياه . زيادة قطر الحفر يمكن أن يكون بدون قيسون فى التربة المتماسكة مثل الطفلة للجافة المتماسكة أو للصخور الغير مسامية أو بقيسون مؤقت بالقطر المناسب . يكون من المهم سحب القيسون المؤقت عند وضع مادة التحشية الأسمنتية (Grouting) وليس يملأ الفراغ بين القيسون المؤقت والقيسون الأساسى . حيث يمكن حدوث التسرب الرأسى بسرعة خارج أى قيسون بدون تحشية فى التربة القريبة من السطح .

فقطر الحفر الزائد عن القطر الخارجى للقيسون المستديم يجب أن يتراوح ما بين ٤ إلى ٦ " لوضع التحشية الأسمنتية .. فى حالة استخدام ماسورة التحشية (Grout)

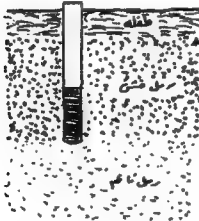
(Pipe) لا يقل القطر لثابت عن ٦ " لإمكان استخدام ماسورة للتحشية (٢ ") خارج القيسون . أما في حالة وضع مادة للتحشية بالضغط إلى أسفل خلال وخارج قاع القيسون إلى الفراغ المحيط فإن القطر للخارجي للحفر قد يقل إلى ٢ " أكبر من قطر القيسون .



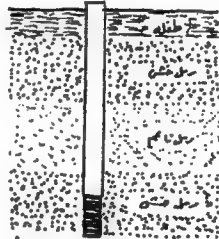
أ- الجزء السفلي من الخزان الجوفي مسدود



ب- الجزء السفلي من الخزان الجوفي صغير

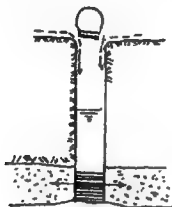


ج- رمل خشن فوق الرمل الناعم

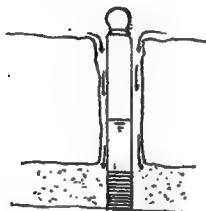


د- طبقت متفككة رمل خشن وناعم

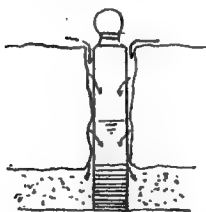
شكل (١٥-٩) حالات مقترحة لوضع المصفاة في التكوينات الرملية الحاملة للمياه ذات الطبقة المختلفة



من أسفل الطبقة

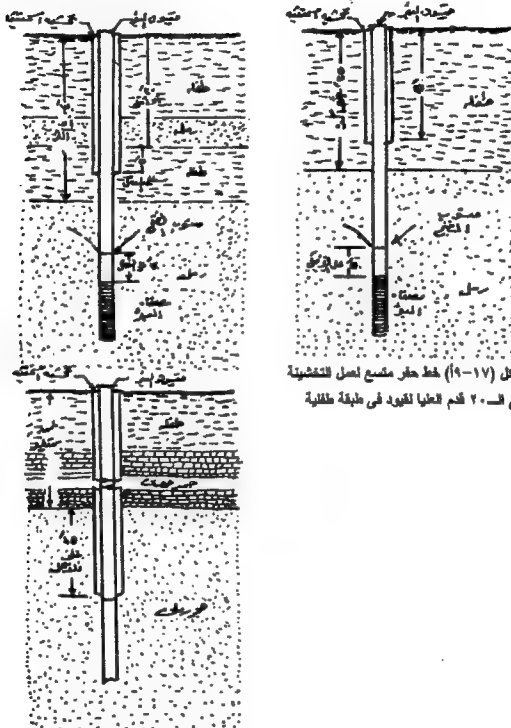


حول القيسون



خلال القيسون المتآكل

شكل (١٦-٩) وصول المياه الملوثة إلى مياه البئر



شكل (١٧-٩) خط حفر متسع لصل للتخشينه
في الـ ٢٠ قدم العليا لقيود في طبقة طفلية

شكل (١٧-٩ب) عندما تخترق البئر مسخور ملتصقة يتم تخشينه مصفاة البئر إلى السق الكامل.

العمق المطلوب للفسراغ حول القيسون لوضع مادة التحشية يختلف طبقاً للظروف الجيولوجية وحالة الموقع . الآبار فى الخزانات الجوفية الرملية حيث الطبقة العليا من سطح التربة تكون طفيلية يتم فى هذه الحالة وضع التحشية حتى عمق ٢٠ قدم أو أكثر .

الآبار فى الخزانات الجوفية من الحجر الرملى حيث الطبقة العليا من مادة غير صماء يجب أن تتم التحشية إلى عمق لا يقل عن ٢٥ متر . فى حالة الطبقة العليا من صخور بها تشققات أو جيوب فإن القيسون تتم التحشية حوله حتى عمقه بالكامل . وكذلك فى حالة الخزانات الجوفية من الصخور الممتلئة أو التى بها جيوب يتم عمل التحشية الأسمنتية للآبار حول العمق الكامل للقيسون .

لحماية البئر من وصول المياه الملوثة السطحية يراعى أن يرتفع قيسون البئر مسافة لا تقل عن متر واحد فوق سطح الأرض بالإضافة إلى عمل بلاطة من الخرسانة حول قيسون البئر بقطر لا يقل عن ١٠ متر وبسمك ٢٠ سم حول القيسون وينتدج السمك إلى الخارج بميل حتى سمك ٥ سم شكل (٩-١٨) . يتم اختيار موقع البئر بعيداً عن مصادر التلوث للمياه الجوفية شكل (٩-١٩) .

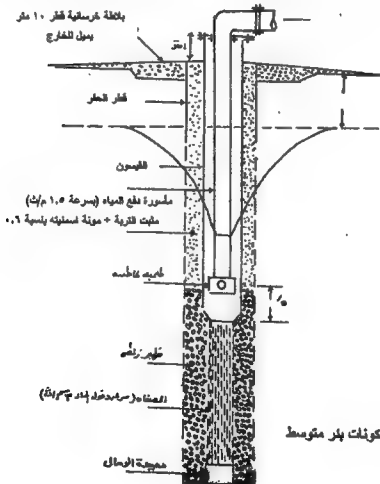
السحب الآمن من الخزان الجوفى السطحى :

عند وجود خزان جوفى ساحلى أسفل منسوب للبحر فإن الجزء العلوى من الخزان الجوفى يحتوى على مياه عذبة بينما الجزء السفلى يحتوى على مياه مالحة ، حيث تعتبر المياه العذبة سابحة فوق المياه المالحة . ونظراً لأن كثافة المياه المالحة أعلا من العذبة فإن منسوب الحدود بينهما تظل فى تزان هيدرولى . تقريباً تمتد المياه العذبة إلى عمق ٤٠ ضعف منسوب خط المياه العذبة فوق متوسط منسوب سطح البحر وبذلك تتسرب المياه العذبة إلى البحر الشكل (٩-٢٠) يوضح هذه العلاقة . فى حالة سحب المياه العذبة بالآبار عندئذ ينخفض منسوب خط المياه وبذلك يتحرك المياه المالحة إلى الداخل وهذه الظاهرة تسمى (Sea Water Intrusion) . فى حالة ضخ جزء فقط من تصرف المياه الأرضية وأن تكون آبار السحب على مسافة بعيدة عن الشاطئ

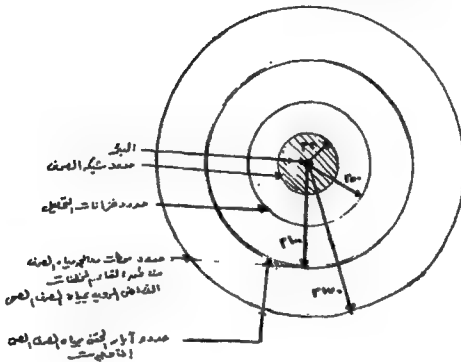
فإن المياه المالحة في الخزان الجوفي يمكن أن تظل بعيدة عن تأثير البحر بفعل تدفقات المياه العذبة المتبقية وبذا يمكن أن تستمر الآبار في إنتاج مياه عذبة . مع مراعاة أن يكون معدل السحب أقل كثيراً من معدل الشحن للخزان الجوفي وذلك للمحافظة على منسوب التداخل بين المياه العذبة والمالحة على مسافة آمنة من موقع البئر .

في حالة الخزانات الجوفية حيث الشحن السريع من المصادر السطحية يجب أن يتساوى معدل السحب مع معدل الشحن ولا يزيد .

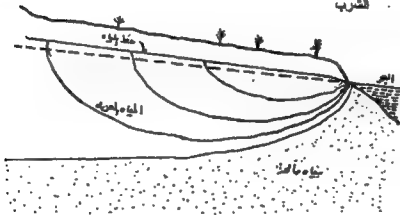
في حالة الخزانات الإرتوازية العميقة حيث الشحن ضعيف أو غير موجود قريباً من بئر الإنتاج ، فإن معدل الضخ يمكن أن يزيد عن معدل الشحن . ولكن يجب التحكم في الإنتاج على ضوء كمية السحب من المخزون الكلى للخزان الجوفي .



شكل (١٨-٩) مكونات بئر متوسط



شكل (١٩-٩) للحدود الآمنة لبئر السحب لمياه الشرب



شكل (١٩-٢٠) مقطع رأسى يوضح عناصر الاتزان الهيدروديناميكي بين المياه العذبة والمياه المالحة في خزان جوفي في مناطق حيث التغذية بالمياه العذبة تحافظ على منسوب خط المياه والضغط من الأبار يمكن أن يغير الاتزان ويسبب دخول المياه المالحة إلى الدخول

الفصل العاشر

مصافي الآبار وطرق تحليل جسيبات التربة

وظيفة مصفاة البئر :

مصفاة البئر هي تجهيزة ترشيح تعمل كحاجز للبئر في الخزانات الجوفية . تسمح المصفاة بدخول المياه إلى البئر من التربة المشبعة وتمنع دخول الرواسب والرمال ، وكذلك تعمل من الناحية الإنشائية في تحمل مادة تربة للخران الجوفى الغير متماسكة . وتتوقف قيمة المصفاة على ما تحققه من نجاح للبئر وكفاءته . تشمل خصائص المصافي الهامة ووظيفتها الآتى :

١- الخصائص :

- نسبة عالية من المساحة المفتوحة .
 - فتحات لا يحدث لها انسداد
 - مقاومة للتآكل .
 - تتحمل عامود الماء والقيسون وتحمل إجهاد الانهيار .
 - يسهل ترميمها Easily Developed
 - أننى فقد فى الضغط خلال المصفاة .
 - التحكم فى ضخ الرمال فى كل أنواع الخزانات الجوفية .
 - لا تحدث بها ترسيبات .
- ٢- تعظيم كل من هذه الخصائص فى إنشاء المصفاة ليس دائماً ممكن طبقاً للتصميم الحقيقى للمصفاة . وعموماً فإن المصفاة ذات الخصائص التالية توفر أفضل الاستخدام فى معظم الظروف الجيولوجية وتحقق الخصائص والوظائف السابقة.
- فتحات المصفاة يجب أن تكون على مسافات توفر أقصى مساحة مفتوحة مع تحقيق القوة المطلوبة والاستفادة من التوصيل الهيدروليكي للخران الجوفى وبما تمكن من التنمية الجيدة .
 - أن تكون المصفاة من مادة لا تتأثر بعذونية المياه الجوفية ولا تحدث ترسيبات.
 - تكون المصفاة المعدنية من معدن واحد لتفادى حدوث التآكل الجلفنى .

- تكون المصفاة بالقوة الكافية لتقاوم الإجهادات المصاحبة أثناء وبعد الإنشاء.

أنواع المصافي :

- مصفاة الفتحة المستمرة , Cotinuous Slot Screen

يستخدم هذا النوع من المصافي على نطاق واسع في آبار الزيت والغاز والمياه وهي الأكثر شيوعاً في آبار المياه . تصنع هذه المصفاة بلف أسلاك على البارد وذات المقطع المثلث حول أسياخ صلب طولية مصقوفة لتعطي للشكل الأسطواني . يتم تثبيت السلك على الأسياخ باللحام بما ينتج قطعة واحدة متماسكة لها قوة عالية مع أقل وزن . وتصنع هذه المصافي من الصلب المقاوم ٣٠٤ ، ٣٠٦ أو من الصلب الكربوني المجلفن أو الغير مجلفن أو من مادة PVC .

تصنع هذه المصافي بعمل فواصل بين اللغات المتتالية للسلك الخارجى للحصول على الفتحة المطلوبة . وتصنع بفتحات تتراوح ما بين ٠.٠٠٦ إلى ٠.٠٥٠ بوصة (٠.١٥ إلى ٦.٤ ملمتر) . كل الفتحات تكون نظيفة وخالية من الشوائب . في حالة المصافي ذات الأقطار الصغيرة المغطاة بشبكة من السلك (Wire Mesh) ، فإن عدد الفتحات في النسيج لكل بوصة يعبر عنه برقم النسيج (Gauze No) . العلاقة بين رقم الفتحة ورقم النسيج موضح في الشكل (١-١) (Relation Ship Between Slot No And Gauze No) .

رقم النسيج (Gauzeno)

٩٠	٨٠	٧٠	٦٠	٥٠	٤٠	٣٠	٢٠
٦	٧	٨	١٠	١٢	١٥	١٨	٢٠
٢٥	٣٠	٣٦	٤٠	٤٨	٥٠	٥٦	٦٠

رقم الفتحة (Slotno)

شكل (١-١) مقارنة بين أطر الفتحة بالبوصة على ألف ورقم النسيج للإيجاد العلاقة لفتحات المصافي

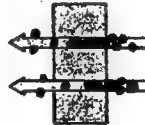
الفتحات ذات الشكل ٧ لصناعة المصفاة تصمم لمنع الانسداد حيث تكون ضيقة عند السطح الخارجى ومتسعة بالدخل . وهذا يعمل على حجز الأجسام الكبيرة ولا تسد الفتحات والأجسام التى تدخل لا تسبب لانسداد شكل (٢-١٠ - أ ، ب) . المصافي حيث الفتحات بدون الشكل ٧ تحدث بها انسداد بما يسبب خفض الإنتاج أو زيادة الانخفاض شكل (٣-١٠) المصفاة ذات الفتحات المستمرة توفر مساحة مفتوحة لوحدة المساحة من سطح المصفاة أكثر من أى نوع آخر من المصافي. الجدول (١-١٠)

المستمرة من أسلاك مختلفة الشكل

نسبة المساحة المفتوحة طبقاً لقطر الفتحة					وجه السلك بالبوصة	
بوصة ٠,١٥٠	بوصة ٠,١٠٠	بوصة ٠,٠٥٠	بوصة ٠,٠٢٥	بوصة ٠,٠٤٠	العرض مم	
٣,٨١ مم	٢,٥٤ مم	١,٢٧ مم	٠,٦٤ مم	٠,٢٥ مم		
٧٦,١	٦٨	٥١,٣	٣٤,٧	١٧,٥	١,١٩	٠,٠٤٧
٧١,١	٦٢,١	٤٥,٠	٢٩,١	١٤,١	١,٥٥	٠,٠٦١
٦٢,٠	٥٢,١	٣٥,٢	٢١,٤	٩,٨	٢,٣٤	٠,٠٩٢
٥٧,٧	٤٧,٦	٣١,٣	١٨,٥	٨,٣	٢,٧٩	٠,١١٠
٥٥,٦	٤٥,٥	٢٩,٤	١٧,٢	٧,٧	٣,٠٥	٠,١٢٠
٥٢,٦	٤٢,٦	٢٧,٠	١٥,٦	٦,٩	٣,٤٣	٠,١٣٥
٤٩,٠	٣٩,١	٢٤,٣	١٣,٨	٦,٠	٣,٩٦	٠,١٥٦
٤٥,٧	٣٦,٠	٢١,٩	١٢,٣	٥,٣	٤,٥٢	٠,١٧٨
٤٢,٩	٣٣,٣	٢٠,٠	١١,١	٤,٨	٥,٠٨	٠,٢٠٠
٤١,١	٣١,٧	١٨,٩	١٠,٤	٤,٤	٥,٤٦	٠,٢١٥

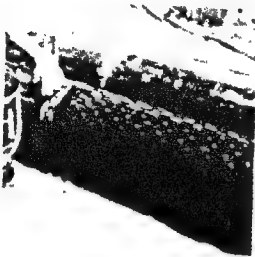


شكل (٢-١٠-أ)



شكل (٢-١٠-ب)

هذه الفتحات المستمرة تساعد على حدوث انسداد الفتحات على شكل حرف V لا يحدث بها انسداد



شكل (١٠-١) المصافي المقطرة تركيب في المصافي ذات
الظهور الزلزالي لأن حبيبات رمل التربة يمكنها سد الفتحات



شكل (١٠-٣) مصفاة ذات الفتحة المستمرة
Continuos - Slotscreen



شكل (١٠-٤) فيسبون به فتحات ذات
نسبة مساحة مفتوحة قليلة



شكل (١٠-٥) مصفاة من العسورة
الملتفة ومحاطة بمصفاة ذات فتحات مستمرة
تصنع من الصلب أو البلاستيك

لتحقيق أفضل كفاءة للبئر فإن نسبة المساحة المفتوحة في المصفاة يجب أن تساوى أو أكبر من متوسط النفاذية لتربة الخزان الجوفى . نفاذية الحجر الرملى والرمل والزراط فى الجدول (٢-١٠) مصافى للفتحات المستمرة عادة تساوى أو تزيد عن المساحة المفتوحة لمادة الخزان الجوفى عدا فى الحالة الغير عادية للفتحات الصغيرة لمنع دخول الرمال الرفيعة .

تدفق المياه بحرية أكثر خلال المصافى ذات المساحة المفتوحة الكبيرة مقارنة بالأخرى ذات مساحة الفتحات المحدودة ، سرعة الدخول خلال مساحة الفتحات الكبيرة منخفضة وبذلك فإن الفقد فى الضغط للمصفاة يكون منخفض عند معدل صرف معين . المصافى ذات المساحة المفتوحة الكبيرة وسرعة دخول المياه قليلة تعرضها للترسيبات قليلة بما يزيد من العمر الافتراضى للبئر . كما تقلل المساحة الكبيرة المفتوحة من تأثير عدوانية المياه . هذا بالإضافة إلى أن شكل الفتحات ٧ يساعد فى عملية التنمية الناجحة . زيادة الإنتاجية للبئر وقلة الانخفاض مرتبط باستخدام المصافى ذات الفتحات المستمرة مقارنة ببالى أنواع المصافى وإن كان سعر الشراء مرتفع إلا أنه يخفض إلى حد كبير تكاليف الصيانة فى حالة استخدام أنواع أخرى .

جدول (٢-١٠) نسبة للنفاذية لأنواع للتربة للعينات للمعاد تعبئتها

النفاذية %	المادة
٢٨ %	زلط خشن
٣٢ %	زلط متوسط
٣٤ %	زلط رفيع
٣٩ %	رمل خشن
٣٩ %	رمل متوسط
٤٣ %	رمل رفيع
٣٣ %	حجر رملى حبيبات رفيعة
٣٧ %	حجر رملى حبيبات متوسطة

أنواع المصافي الأخرى : شكل (٤-١٠)

المصافي ذات الفتحات المقلّطة (Louvered And Bridge Slot Screen)

في هذا النوع من المصافي تكون الفتحات في صفوف إما عمودية أو موازية لمحور المصفاة . تصنع هذه المصافي إما من المواسير أو من ألواح الصلب حيث يتم التخريم باستخدام الضغط على فرم ثم لف الألواح لعمل ماسورة المصفاة . وفتحات هذه الفتحات يحدث لها اتسداد أثناء عملية التنمية ولذلك يقتصر استخدامها في حالة استخدام الظهير الزلزلي حول المحيط الخارجي للمصفاة شكل (٤-١٠/أ) .

المصافي ذات القاعدة من ماسورة , Pipe Base Screen

هذه المصافي تستخدم عادة في حقول البترول نظراً لقوتها ولخترالها لأعماق كبيرة وقد تستخدم في آبار المياه . تصنع هذه المصافي بلف مصفاة ذات الثقوب المستمرة (Continuous Slot Screen) على ماسورة مثقبة شكل (٤-١٠/ب) وتسمى (Wrapped On Pipe Screen) أو بلف السلك حول أسياخ طولية موضوعة حول المحيط الخارجي للماسورة المثقبة بمسافات معينة وهذا النوع أكثر كفاءة بسبب احتمالات الاتسداد ضعيفة لفتحات الماسورة نظراً لبعدها عن جسم الماسورة المثقبة والأفضل هو بوضع الماسورة المثقبة داخل المصفاة ذات الفتحات المستمرة بما يعطي قوة للمصفاة شكل (٤-١٠/ج) .

ورغم أن هذا النوع من المصافي له نظامين للفتحات داخلي وخارجي إلا أن إجمالي المساحة المفتوحة أقل من المصفاة ذات الفتحات المستمرة . تصنع الماسورة المثقبة والمصفاة من معدن واحد لتجنب حدوث تآكل جلفني ويكون المعدن إما من الصلب المقوّم أو الصلب الكربوني .

المواسير المثقبة المعدنية أو من البلاستيك شكل (٤-١٠/د)

في هذا النوع من المواسير تصنع الثقوب يدوياً بما يضعف التحكم في قطر

الفتوب ويكون لإجمالى المساحة المفتوحة قليل . وتستخدم المصافى المتقبة من البلاستيك فى الأراضى الطينية وقد تحملها ٢٠ % من قوة تحمل الماسورة المعدنية .

دليل المصفاة أو مقدمة المصفاة : Well Points

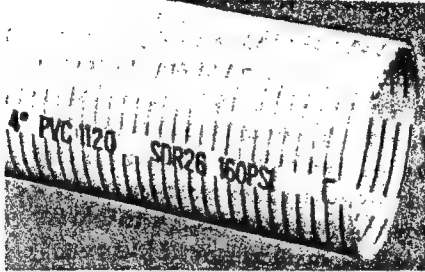
تصنع مقدمة المصفاة بأشكال ولطائر مختلفة . فقد تستخدم المصفاة ذات الفتحات المستمرة مثبت بها مصلوب من الصلب إلى أسفل باللحام ووصلة مقلوطة فى الطرف العلوى . النوع الآخر من للنحاس الأصفر أو للصلب المقاوم الذى يكون غطاء لماسورة متقبة من الصلب المقاوم مغطاة بغطاء من شبك السلك . قاعدة الماسورة الصلب (التشكيل على البارد) لها كثافة تساعد على إزالة الأجسام الكبيرة أثناء دفع المصفاة إلى أسفل . ونوع آخر عبارة عن ماسورة صلب مجلفن متقبة بفتوب نصف قمرية (نصف دائرة مستطيلة) . أو ماسورة من الصلب المجلفن بدخلها ماسورة من البلاستيك مغطاة بطبقة من شبك السلك لحماية شبكة السلك من الصخور والأحجار أثناء دفعها إلى أسفل .

قطر فتحات المصفاة يعبر عنه بعدد الفتحات (Mesh Number) الذى هو عدد الفتحات فى البوصة الطولية . عدد الفتحات العادى هو ٤٠ ، ٥٠ ، ٦٠ ، ٧٠ ، ٨٠ فتحة (Mesh) .

أقصى مساحة مفتوحة للمصفاة .

نسبة المساحة المفتوحة (مساحة الفتحات) فى مصفاة البئر يجب أن تساوى على الأقل نفاذية الرمال الحاملة للمياه أو المرشح الزلطى (Filter Back) . بفرض أن نفاذية الرمال ٣٠ % وأن نسبة المساحة المفتوحة فى مصفاة البئر ١٠ % . فإن الفرق بسبب إعاقة عند دخول الماء البئر . وهذا يعنى زيادة الانخفاض عند معدل ضخ معين ، بسبب زيادة اللقد فى الضغط عند مرور المياه فى فتحات المصفاة . ولذلك مصافى الآبار يكون أدائها أفضل عندما تكون المساحة المفتوحة للمصفاة كبيرة ما أمكن لمقطر فتحة معين مع توفر القوة للمصفاة لمقاومة الإجهادات . تعتبر المصفاة ذات الفتحات المستمرة (Continuous Slot) هو النوع الوحيد المناسب للاستخدام فى حالة

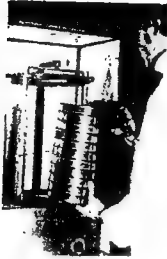
الرمال الرفيعة لكل مجال قطر الفتحات في المصفاة .



شكل (١٠-٤) مصفاة من البلاستيك بها فتحات التي تعادل نصف المساحة المفتوحة في المصفاة ذات الفتحات المستمرة

تحليل قطر حبيبات التربة ، Sediment Size Analysis

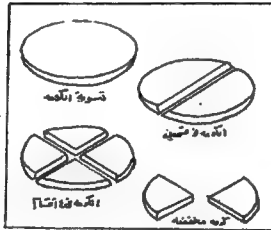
يعتبر اختيار قطر فتحة المصفاة خطوة أساسية لتأكيد أقصى كفاءة للبئر . يبنى قطر فتحة المصفاة على تحليل قطر حبيبات عينات التربة . بتحليل الأقطار للحبيبات في العينة يمكن عمل منحى توزيع قطر الحبيبات . يستخدم لذلك طرق كثيرة . والأكثر استخداماً من هذه الطرق هو بتمرير المادة خلال مجموعة المنخل ٨ بوصة شكل (١٠-٥) (٢٠٣ مم) من النحاس الأصفر أو الصلب المقاوم حيث يتم هزها بواسطة ماكينة الاهتزاز (Vibration Machine) شكل (٦ - ١٠) . المناخل ذات القطر الأقل (٣ بوصة - ٧٦ مم) يمكن هزها يدوياً . أثناء عمل المنخل فإن كل منخل يمرر نسبة معينة من العينة ، بحيث تتجمع المادة للرفيعة في المنخل الأخير . عند توقيع هذه النسب بالوزن لكل العينة توفر رؤية لطبيعة مكونات العينة جدول (٣-١٠) . توجد طرق أخرى منها التحليل بالترسيب باستخدام أنبوبة ترسيب سرعة الترسيب للمواد أصغر من ٠,٠٠٣ بوصة (٧٤ ميكرون) (Velocity Setting Tubes) تحليل المنخل لا يوفر فقط الأساس لتحديد قطر الفتحة .



شكل (١٠-٦) ماكينة هز المنخل

In	mm	U.S. Sieve No.
0.152	2.35	6
0.095	2.36	8
0.066	1.68	12
0.047	1.19	16
0.033	0.84	20
0.025	0.58	30
0.017	0.43	40
0.012	0.30	50
Bottom pan		
Coarse Sand		
0.047	1.19	16
0.033	0.84	20
0.025	0.58	30
0.017	0.43	40
0.012	0.30	50
0.008	0.20	70
Bottom pan		
Fine Sand		
0.025	0.58	30
0.017	0.43	40
0.012	0.30	50
0.008	0.20	70
0.006	0.15	100
Bottom pan		

شكل (١٠-٥) مجموعة المنخل



شكل (١٠-٧)
طرق التقسيمات
الأربعة

عمل تحليل المنخل.

معدات الاختبار لعملية المنخل تشمل لوح ماسخ لتجفيف العينة ، مجموعة من

مناخل الاختبار وميزان حساس لواحد جرام لوزن مادة العينة . تستخدم مناخل قطر ٨ بوصة عادة . يجب أن تكون العينة تامة الجفاف قبل عمل تحليل المنخل . إذا كانت العينة رطبة يتم تجفيفها فوق حرارة منخفضة مع التقلب من آن لآخر . بعد جفاف العينة و في حالة وجود طفلة فإن حبيبات الرمل تلتصق مما يتطلب العمل على إزالة الالتصاق وتلك الحبيبات . في حالة العينة كبيرة جداً على المناخل (أكثر من ٢٢٤ جرام) يمكن خفضها باستخدام تقسيم العينة (Sample Splitter) أو طريقة الأربيع أقسام (Quartering Method) . إذا كانت العينة من الرمال الرفيعة يستخدم فقط ١١٢ جرام وذلك لعدم زيادة التحميل على المناخل ذات الثقوب الضيقة (Fine Mesh) . تحدث لخطأ في حالة زيادة التحميل على المناخل ، وهذا يؤدي إلى تصميم المصفاة التي تؤدي إلى ضخ الرمال .

في حالة استخدام طريقة الأربيع أقسام يتم عمل كومة من العينة الجيدة الخلط لملئ سطح مستوي ثم يتم تسويتها شكل (٧-١٠) . تكون الكومة المستوية على شكل دائرة ثم تقسم إلى أربعة أقسام . تخفض العينة إلى النصف بإزالة ربعين متقابلين . وخط الربعين الآخرين معاً . في حالة استمرار كبير العينة تكرر الخطوة السابقة مع عدم محاولة تحضير عينة ذات وزن معين .

يتم اختبار ٥ - ٨ منخل ذات فتحات متتالية التي مستقيم بفصل العينة إلى مختلف حجم الحبيبات . المنخل بالفتحات الواسعة (Coarsest Sieve) يجب أن يحجز أكثر من ٢٠ % من العينة . مجموعات المناخل المفتوحة موضحة في الشكل (٨-١٠) فتحات المناخل مصممة لأقطار على ألف من البوصة أو المليمتر أو برقم الفتحة (Mesh No). يتم وضع المناخل حيث المنخل بالفتحات الأصغر يكون في القاع والمنخل بالفتحات الأكبر يكون على القمة . يتم وزن العينة الجافة وتسجيل العينة ثم تصبب العينة الجافة في المنخل العلوى . يتم هز كل المناخل بحركة دائرية وقليل من الحركة العليا والسفلى مع لارج لجعل المادة تتحرك في كل منخل ومنع الانسداد . إذا أمكن ترج العينة ميكانيكياً لمدة لا تقل عن خمسة دقائق .

تفرغ العينة المحتجزة فى المنخل العلوى فى إناء أو على ورقة عريضة . ثم نقل هذه المادة إلى كفة الميزان . سجل الوزن وحجم فتحة المنخل الذى حجزت عليه . يتم التخلص من أى حبيبات محتجزة فى المنخل مع تجنب إتلاف عيون المنخل . تضاف المادة المحتجزة على المنخل الثانى الذى تم وزنه . سجل الوزنتين . فرغ كل وزنة بالتتالى وسجل الوزن لتراكم العينة فى كل حالة . أخيراً تضاف المادة الأخيرة فى القاع ثم يتم الوزن . هذا الوزن التراكمى يجب أن يساوى وزن المادة الأصلية خلال ٢ - ٣ جرام . تراكم الوزن لتسجيل العينة من المناخل المتتالية المعروف . يتم حساب النسبة المئوية للحجز بقسمة الوزن المحتجز على كل منخل على الوزن الكلى للعينة جدول (٣-١٠) .

جدول (٣-١٠) النسبة المئوية للحجز

نسبة الحجز	الوزن المحتجز		قطر فتحة المنخل	
	لوقية	جرام	مليمتر	بوصة
١٧	١,٠	٢٨,٤	١,١٧	٠,٠٤٦
٢٨	١,٦	٤٥,٤	٠,٨٤	٠,٠٣٣
٤٧	٢,٦	٧٣,٧	٠,٥٨	٠,٠٢٣
٤٠	٣,٩	١١٠,٦	٠,٤١	٠,٠١٦
٨٢	٤,٦	١٣١,٤	٠,٣٠	٠,٠١٢
٩٤	٥,٣	١٥٠,٢	٠,٢٠	٠,٠٠١٨
	٥,٦	١٥٨,٨		للحلة السفلى

* الوزن الأصلى ٥,٦ لوقية (١٥٨,٨ جرام)

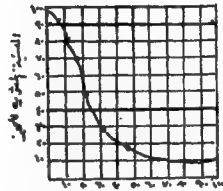
وهذه البيانات جاهزة للتوقيع على ورقة رسم بيانى . النسبة المئوية للمحتجز . على كل منخل اختبار توقع مقابل قطر الفتحة بالبوصة على ألف أو بالمليمتر . توقع نسبة الحجز على المحور الرأسى واتساع الفتحة على المحور الأفقى . اتساع فتحة المنخل يقدّر به قطر أصغر الحبيبات المحتجزة على كل منخل . يتم ربط هذه النقاط كما فى الشكل (٨ - ١٠) .

Weston's Classification	Sieve Range
Boulder	16.00 to & above (200 mm & above)
Cobble	2.50 to 16.00 in (64 to 200 mm)
Public ^a	0.16 to 2.50 in (4 to 64 mm)
Gravel	0.075 to 2.50 in (2 to 4 mm)
Very coarse sand	0.075 to 0.25 in (2 to 6 mm)
Coarse sand	0.075 to 0.60 in (2 to 1 mm)
Medium sand	0.075 to 0.425 in (0.25 to 0.75 mm)
Fine sand	0.075 to 0.075 in (0.075 to 0.125 mm)
Very fine sand	0.075 to 0.075 in (0.075 to 0.125 mm)
Silt	0.0002 to 0.0002 in (0.0002 to 0.0002 mm)
Clay	Below 0.0002 in (Below 0.0002 mm)

^aThe USACE has subdivided this category as follows:

Very coarse gravel	1.25 to 2.50 in (32 to 64 mm)
Coarse gravel	0.60 to 1.25 in (16 to 32 mm)
Medium gravel	0.25 to 0.60 in (6 to 16 mm)
Fine gravel	0.075 to 0.25 in (2 to 6 mm)

جدول (١٠-٤) تقسيم حجم الحبيبات



شكل (١٠-٨) قطر الحبيبات على ألف من البوصة

منحنى توزيع قطر الحبيبات.

منحنى توزيع قطر الحبيبات يوضح من أول لحظة كيف أن مادة العينة أكبر أو أصغر من قطر معين . فمثلاً في الشكل (١٠-٨) يتضح أن ٩٠ % من العينة يتكون من حبيبات رمال أكبر من ٠.٠٠٩ بوصة (٠.٢٣ مم) و ١٠ % أصغر من هذا الحجم . ويقراءة للمنحنى بطريقة أخرى فإن ٤٠ % من قطر حبيبات الرمل هو بقطر ٠.٠٢٦ بوصة (٠.٦٦ مم) أو ٤٠ % من العينة أكثر خشونة من ٠.٠٢٦ بوصة ، ٦٠ % أرفع من ٠.٠٢٦ بوصة . يستخدم طريقة التحليل ليس فقط في تحليل تربة الخزانات للجوفية ولكن في كثير من الأعمال الإنشائية وأعمال المياه كما في حالة

رمال المرشحات .

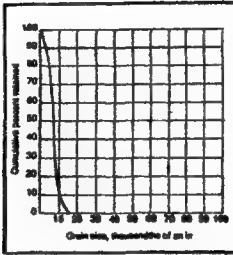


Figure 10-1 Class A curve for fine sand.

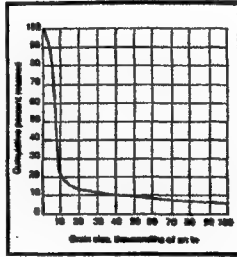


Figure 10-2 Class B curve for fine and very coarse sand.

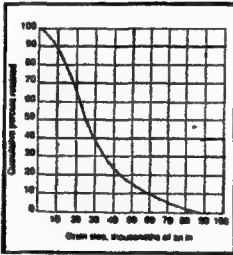


Figure 10-3 Class C curve for coarse and very coarse sand.

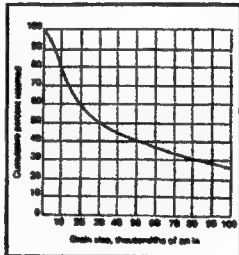


Figure 10-4 Class D curve for coarse sand and very fine gravel.

شكل (١٠-٩)

هناك طرق كثيرة لتوصيف حجم الحبيبات في كثير من الأعمال ، ولكن في مجال المياه أخذ بمقياس يستخدم بواسطة الأبحاث الجيولوجية الأمريكية (USGS - US Geological Survey) حيث استعملت مجال واحد لحجم الحبيبات من ٠,١٦ إلى ٢,٥ بوصة (٤ إلى ٦٤ مم) حيث قسمت إلى مجموعات كما في الجدول (١٠-٤) .

ويستخدم هذا النظام لأربع منحنيات في الشكل (٩-١٠) يعطى التوصيف التالي :

المنحني (أ) رمال رفيعة .

المنحني (ب) رمال رفيعة وخشنة جداً .

المنحني (ج) رمال خشنة وخشنة جداً .

المنحني (د) رمال خشنة وزلط رقيق جداً .

تعبير الحجم المؤثر (Effective Size) أخذ به في رمال للترشيح وأعد هـايزن في عام ١٩٨٣ . ويعرف بحجم الحبيبات حيث يتم حجز ٩٠ % ومرور ١٠ % بالوزن من العينة . في المنحني (أ) الحجم المؤثر هو ٠,٠٠٣ بوصة (٠,٠٠٨ مم) في المنحني (ج) الحجم المؤثر ٠,٠١ بوصة (٠,٢٥ مم) . ولدراسة ميل وشكل المنحني استخدم هـايزن تعبير معامل التجانس (Uniformity Coefficient) وهو عبارة عن نسبة الحجز لـ ٤٠ % من للعينة بالوزن مقسوماً على نسبة الحجز لـ ٩٠ % من العينة (القطر المؤثر) . حيث كلما انخفضت قيمة معامل التجانس زاد التجانس لتدرج العينة بين هذه الحدود . وكلما زادت للقيمة قل التجانس في التدرج .

- تنمية الآبار
- اختبارات الضخ
- الإصلاح والصيانة

١- تنمية إبار المياه (Development of Water Wells) :

- هي تصميم خطة لتعظيم إنتاج البئر من خلال التنمية الذى يتم لتحقيق هدفين :
- (١) إصلاح التلف فى التربة نتيجة الحفر لاستعادة الخواص الهيدروليكية الطبيعية.
 - (٢) للتفسير فى الخصائص الطبيعية الأساسية للخرن الجوفى قرب قطر الحفر بما يجعل تدفق المياه نحو البئر يتم بحرية .
- يتم هذا باستخدام بعض القوة إلى المصفاة والتربة . كل الآبار يتم تنميتها قبل وضعها فى الإنتاج للحصول على مياه خالية من الرمال عند أقصى طاقة نوعية ممكنة.

تنمية البئر بالطرق المختلفة .

- الضخ الزائد (Over Pumping) : يتم الضخ بمعدل يزيد عن المعدل التصميمى للبئر وذلك باستخدام نفس الطلمبة حيث يمكن زيادة التصريف بخفض الرفع للمياه وإلقائها فى منسوب الأرض وفى حالة حدوث أى أعطال للطلمبة بسبب ضخ الرمال يتم عمل الإصلاح اللازم . يستمر الضخ ثم يتوقف لتترك المياه فى البئر (المياه فوق خط المياه الاستاتيكي عند توقف الضخ) وتخرج من فتحات المصفاة إلى التربة المحيطة بما يعمل على تفكك حبيبات التربة ثم يعاد الضخ وهكذا حتى يتم سحب المياه الخالية من الرمال .

- الغسيل العكسى (Back Washing) :

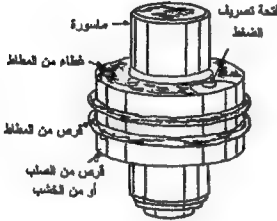
عملية التنمية ذات التأثير يجب أن تسبب التدفق المتغير الاتجاه خلال فتحات المصفاة حيث يمكن أن تتحرك الرواسب وترال الحبيبات الصغيرة ثم يتم إعادة تنظيم حبيبات التربة . عملية الاندفاع للمياه (Surging Action) تتم بالرفع لعمود المياه لمسافة مناسبة فوق منسوب الضخ ثم تترك المياه لتسقط ثانية فى البئر وتكرر هذه العملية عدة مرات وتسمى هذه العملية بالجلد (Rawhiding) . قبل بدء عملية الاندفاع أو الجلد يتم تشغيل الطلمبة بطاقة منخفضة ثم للتخرج فى الزيادة المستدرة فى سحب المياه إلى أقصى طاقة وذلك لتفادى انسداد الطلمبة بواسطة

لرمال . حيث يبدأ تشغيل الطلمبة حتى وصول منسوب المياه إلى السطح ثم توقف الطلمبة ، عندئذ يسقط عامود الماء فى ماسورة الطلمبة إلى البئر . يتم تشغيل الطلمبة وإيقافها بالسرعة التى تسمح بها وحدة الطاقة ومفاتيح التشغيل . ولتجنب السلف للطلمبة يتم تزويد صندوق التحكم بوحدة التحكم فى بدء التشغيل (Starter) (Lockout . وذلك لضمان عدم بدء تشغيل الطلمبة عند دوران الريش (Back Spining) فى الاتجاه العكسى . أثناء هذه العملية يتم ضخ المياه فى المصرف لإزالة الرمال . فى كثير من الحالات لا يكون تأثير الاندفاع للمياه بالقوة الى تحقق أقصى نتائج . كما فى حالة للضخ الزائد . حيث يكون تركيز الضغط على الجزء العلوى من المصفاة أو فى المنطقة ذات التربة الأكثر نفاذية . وذلك يجعل الجزء السفلى من المصفاة غير تام للتنمية وخاصة فى حالة الآبار ذات الطاقة العالية . ومن الطرق الأخرى القادرة على إزالة المواد الرفيعة فى وقت قليل مع تحقيق طاقة نوعية عالية الآتى :

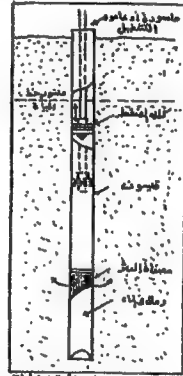
الضغط الميكانيكى (Mechanicals Surging)

الضغط الميكانيكى هو طريقة أخرى لدفع المياه للتدفق إلى المصفاة ومن المصفاة وذلك بتشغيل مكبس (Plunger) إلى أعلى وإلى أسفل فى القيسون . كما فى حالة بستم العربة . الأداة المستخدمة تسمى كتلة الضغط (Surge Block) شكل (١-١١) ، شكل (٢-١١) . بعض العاملين فى حفر الآبار لا يفضلوا استخدام الكتلة الميكانيكية بحجة أنها تدفع بالرمال الرفيعة إلى للتربة قبل إزالتها . ولتجنب هذه المشكلة يجب تفريغ البئر لتأكيد تدفق المياه إلى البئر وذلك قبل بدء عملية الضغط الميكانيكى . يتم إنزال كتلة الضغط فى البئر حتى منسوب ٣ - ٥ متر أسفل منسوب المياه الاستاتيكي ولكن فوق المصفاة . عملية الضغط بالكتلة تبدأ أولاً برفق نسبياً بما يسمح بتفتت المواد المسببة لانسداد المصفاة وتعلق ثم تتحرك نحو البئر . يتم استخدام كتلة الضغط بحرص شديد وخاصة فى حالة للتربة فوق المصفاة تكون أساساً من الرمل الرفيع أو الطفلة أو الطين الذى يمكن أن يتراكم فى المصفاة .. ومع بدء التحرك بسهولة للمياه

داخل وخارج المصفاة، يتم خفض كتلة الضغط على خطوات حتى فوق المصفاة مباشرة . مع خفض كتلة الضغط تزداد قوة ضغط المياه . فى حالة البئر بالمصفاة طويلة يكون من الأصوب تشغيل كتلة الضغط فى المصفاة لتركيز أدائها عند مختلف المستويات . عندئذ تبدأ التنمية فوق المصفاة ثم تتحرك إلى أسفل على مراحل . يكون وزن للكتلة بما يسمح بسقوطها بالمعدل المطلوب عند استخدام حبال من النيلون لربطها . استمرار الضغط لمدة دقائق ثم تصحب للكتلة من البئر .



شكل (١١-١) نموذج لكتلة الضغط مكونه من قرصين من المطاط بين ثلاثة أقراص من الخشب أو الصلب . القطر الخارجى لقرص المطاط مساوى للقطر الداخلى للمصفاة . الجزء الصلب لكتلة الضغط يقرها لثقب بواحد بوصة



شكل (١١-٢) كتلة الضغط لتنمية البئر

يمكن استخدام الهواء لدفع الرمال والاروسب خارج البئر فى حالة توفر ضاغط

هواء .

إجمالى زمن التنمية يتراوح ما بين ساعتين للكبار الصغيرة لعدة أيام للكبار الكبيرة حيث المصفاة طويلة . تكون نتائج كتلة الضغط غير مرضية فى حالة عندما تحتوى التربة على الطفلة وفى حالة حبيبات التربة مشطوفة وغير مستديرة مع تجلب

التنمية فى حالة وجود مادة الميكا .

نوع آخر من أدوات للضغط والذي يسمى المساحة (Swab) يستخدم لإزالة السواد الرقيقة فى الآبار العميقة المحفورة فى الخزانات الجوفية الصخرية.. وأبسط أنواعها عبارة عن فلنجة من المطاط حيث يتم إزالتها إلى أى نقطة أسفل منسوب خط المياه ثم ترفع لمسافة حوالى ١ متر بدون محاولة لإحداث تأثير ضغط. يجهز المساحة بمحبس عدم رجوع مما يساعد على زيادة سرعة النزول إلى أسفل . يعتبر كتلة الضغط جيدة فى المصافى المركبة فى تربة حيث للنفاذية عالية والتوصيل الهيدروليكي على .

النمية بالهواء بالضغط والضخ Air Development By Surging

± Pumping

يستخدم الهواء المضغوط للتنمية الآبار فى الخزانات الجوفية المتماسكة والغير متماسكة .. حيث زاد استخدام الهواء المضغوط مع حفر الآبار بالهريمة التى تعمل بالهواء المضغوط . فى الضغط بالهواء يتم حقن الهواء فى البئر لرفع المياه إلى السطح ومع وصول المياه إلى السطح يتم إيقاف حقن الهواء بما يسمح بعامود السقوط . تستخدم فى الآبار الكبيرة ماسورة دخل القيمين لحقن الهواء وفى الآبار من ٦ - ١٢ * يستخدم الهواء مباشرة فى القيسون شكل (٣-١١) .

النمية بالبثق عالى السرعة High Velocity Jetting

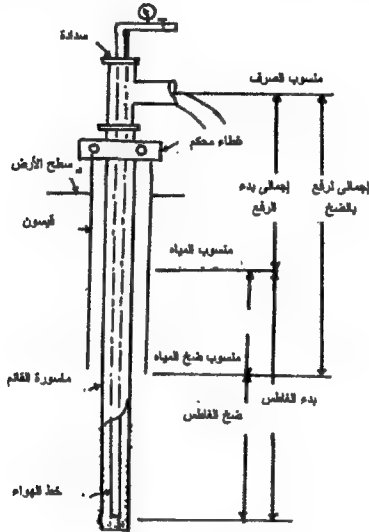
تتم التنمية بالبثق عالى السرعة إما بالماء أو بالهواء وعملياً فإن البثق بالماء يتم فى نفس الوقت بالضغط بالهواء بما يسبب عدم حدوث ترسيبات فى التربة . وتتم عملية البثق بتسليط نافورة من الماء فى الاتجاه الأفقى خلال فتحات المصفاة . وهذه الطريقة ناجحة فى جميع أنواع التربة شكل (٤-١١) .

- قد يضاف ملح البولى فوسفيت فى شكل محلول إلى البئر ثم تضاف المياه إلى البئر بحيث يدخل المحلول من خلال المصفاة إلى التربة المحيطة وهذه المادة تعمل

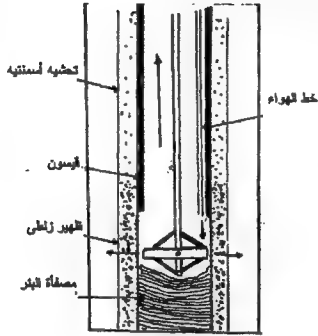
على تشتت الأجسام الصغيرة فى التربة بما يسهل من عملية إزالتها . إضافة النبولى فوسفيت تتم فى العملية السابقة لعملية للتنمية .

- مقارنة لطرق التنمية وأثرها على متوسط الطاقة النوعية موضحة فى الشكل

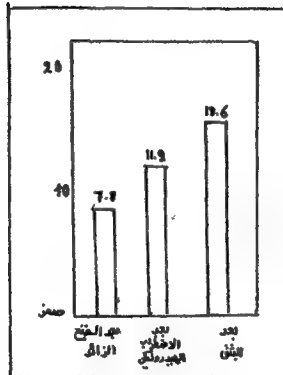
(١١ - ٥) .



شكل (١١-٣) مصطلحات طبقة الرفع بالهواء



شكل (١١-٤) للتنمية ببلق الهواء



شكل (١١-٥) متوسط الطاقة لتوعية بعد طرق للتنمية المختلفة

٢- جمع وتحليل بيانات اختبار الضخ :

لختبارات الضخ قد تستم لتعيين (١) خصائص كفاءة للبئر (٢) للمعايير الهيدروليكية للخران الجوفى . لاختبار كفاءة البئر يتم تسجيل التصرف والانخفاض لإمكان حساب الطاقة النوعية . هذه البيانات تعطى قياس للطاقة الإنتاجية للبئر الذى اكتمل وكذلك توفر المعلومات اللازمة لاختبار الطلمبة . الغرض الثانى من اختبارات للضخ هو توفير البيانات اللازمة لحساب كفاءة الخزان الجوفى ، للنقل ومعامل التخزين ، لاختبارات الخزان الجوفى تمكن من تقدير (١) تأثير السحب الجديد على الآبار الموجودة (٢) الانخفاض فى البئر فى الأوقات المستقبلية وعدد معدلات ضخ مختلفة (٣) قطر الفتحة المؤثر للبئر أو لعدة آبار .

يتكون اختبار الخزان الجوفى من ضخ بئر بمعدل معين وتسجيل الانخفاض فى البئر وفى آبار الملاحظة القريبة عند أوقات معينة . يوجد نوعين من اختبارات الخزان الجوفى . وهما اختبارات المعدل الثابت واختبارات معدل الانخفاض المتدرج . فى اختبارات المعدل الثابت يتم ضخ البئر بمعدل واحد لمدة زمنية ، بينما فى اختبارات معدل الانخفاض المتدرج يتم ضخ البئر بمعدل متزايد بالتالى فى أزمنة قصيرة نسبياً .

القياسات المطلوبة لاختبارات كل من البئر والخزان الجوفى تشمل :

- منسوب المياه الاستاتيكي قبل بدء الاختبار مباشرة .
- الوقت عند بدء الضخ .
- معدل الضخ .
- مناسيب الماء الديناميكية (مناسيب الضخ) عند الفترات المختلفة أثناء فترة الضخ .
- الوقت عند أى تغير فى معدل الضخ .
- الوقت عند توقف الضغط .
- قياسات مناسيب المياه بعد توقف الضخ (الاستعادة) تعتبر ذات أهمية بالغة

لاستنتاج معاملات الخزان الجوفى المحسوبة أثناء مرحلة اختبار الضخ .

عمل اختبار الضخ :

لختبارات الضخ لا توفر بيانات دقيقة إلا إذا تمت بحرص فى تسجيل الوقت، والتصرف وقياسات العمق . يلزم عمل إجراءات قبل اختبار الضخ ، حيث يلزم ضخ البئر لعدة ساعات قبل عمل اختبار الضخ بعدة أيام لتعيين الآتى :

- أقصى انخفاض متوقع (فى معظم اختبارات الضخ ، يحدث أكبر جزء من الانخفاض فى الساعات الأولى من الضخ) .
- حجم المياه المنتج عند سرعات الطلبة المعينة والانخفاض .
- أفضل طريقة لقياس التصرف .
- إذا كان التصرف من البئر يتم بعيداً (فى مواسير) لتجنب للشحن الجوفى .
- فى حالة وجود آبار ملاحظة لقياس الانخفاض لتوفير بيانات مفيدة لا يتم عمل اختبار الضخ إلا بعد عودة منسوب المياه الاستاتيكي بعد الاختبار الأولى لمدة ٢٤ إلى ٧٢ ساعة .

دقة بيانات الانخفاض أثناء اختبار الضخ تتوقف على الآتى :

- المحافظة على تصرف ثابت أثناء الاختبار .
- أخذ قراءات الانخفاض على فترات زمنية مناسبة ويثر الإنتاج وآبار الملاحظة .
- مقارنة بيانات الانخفاض مع بيانات الاستعادة أثناء جزء من اختبار الضخ .
- فى حالة الخزان الجوفى المحصور يستمر الضخ لمدة ٢٤ ساعة ولمدة ٧٢ ساعة فى حالة الخزان الجوفى الغير محصور .
- لقياس المدرج فى الانخفاض تعتبر ٢٤ ساعة عادة كافية لكل من نوعى الخزنتين .

المحافظة على ثبات التصريف .

التفسير فى سرعة الطلمبة بسبب بيانات انخفاض غير دقيقة . يفضل استخدام الطلمبة عند ٥٠ % أو ٦٠ % من أقصى عدد للنفات فى الدقيقة حيث فى هذا المجال تعمل الطلمبة بانتظام منتجة تصريف ثابت . ولتفادى الأخطاء تستخدم الطاقة الكهربائية لتشغيل الطلمبة . مع إمكانية تشغيل الطلمبة ومصدر الطاقة بمعدل ثابت لمدة لا تقل عن ٤٨ ساعة . وفى حالة وجود آبار ملاحظة لا تقل لمدة عن عدة أيام . يستم مقياس معدل الضخ بدقة وتسجيله . التحكم فى معدل الضخ أثناء الضخ يتطلب تجهيز دقيق لقياس التصريف وسيلة مناسبة لضبط التصريف ليكون ثابت ما لمكن . لذلك يجهز خط مواسير الصرف بمحس مقترح بنسبة ٥٠% أو ٧٥% عند الضخ بالمعدل المطلوب .

الطرق المباشرة للقياس

- الأوعية والمعدات لقياس التصريف للبر .

الطريقة السهلة والبسيطة لقياس معدل الضخ هو بملاحظة الوقت اللازم لملء وعاء معلوم الحجم . فمثلاً يلزم ٣٠ ثانية لملء برميل (٠,٢ متر مكعب) ٥٥ جالون ، يكون معدل الضخ للطلمبة ١١٠ جالون فى الدقيقة (٦٠٠ متر مكعب فى اليوم) . وهذه الطريقة مناسبة فى حالة قياس معدل الضخ المنخفض نسبياً . أجهزة قياس تصريف المياه يعتمد عليها فى التصريفات الكبيرة حيث توضح قراءة العداد حجم التصريف عند وقت الملاحظة . عند طرح قراءتين بفاصل دقيقة واحدة يعطى معدل الضخ فى الدقيقة .

- قياس الانخفاض فى الآبار

يمكن أخذ بيانات الانخفاض من بئر الضخ ومن بئر الملاحظة على مسافة مناسبة ولكن قراءات بئر الضخ لا تكون دقيقة لوجود اضطراب بسبب الطلمبة وذلك يتطلب وجود بئر ملاحظة واحد على الأقل ، هذا بالإضافة إلى أن الانخفاض فى بئر

الملاحظة يوفر دقة حساب معامل التخزين بينما بيانات الانتقال يمكن للحصول عليها من بئر الملاحظة أو من بئر الإنتاج .

آبار للملاحظة تكون كبيرة بالقدر الذى يمكن من القياس الدقيق والسريع لمناسيب المياه ولكن الآبار ذات القطر الصغير أفضل نظراً لأن حجم المياه فى الآبار الكبيرة يمكن أن يسبب فاصل زمنى فى تغيرات الانخفاض . معظم آبار الملاحظة يكون طول المصفاة فيها من ٣ - ٦ قدم (٠.٩ إلى ١.٨ متر) وإن كانت للمصافى الطويلة أفضل طبقاً لدرجة اختراقها ولكن ليست دائماً بالضرورة . توضع المصافى فى آبار الملاحظة على نفس العمق مثل الجزء للمتوسط من مصفاة بئر الإنتاج . يتوقف عدد آبار الملاحظة على كمية المعلومات المطلوبة والتكاليف . البيانات التى تتوفر بقياس الانخفاض فى مكان واحد خارج بئر الإنتاج تمكن من حساب متوسط للتوصيل الهيدروليكي ، الانتقال ، معامل التخزين للخران الجوفى ، وفى حالة عمل أكثر من بئر ملاحظة على مسافات مختلفة يمكن تحليل بيانات الاختبار بالنسبة لكل من العلاقة بين الانخفاض - الوقت ، الانخفاض - المسافة ، استخدام طرق التحليل هذه يوفر تأكيد صحة قيم حسابات الانتقال ومعامل التخزين . من المفضل عمل آبار ملاحظة كثيرة نظراً لاختلاف التوصيل الهيدروليكي فى كل اتجاه والذي يؤكد وجود آبار للملاحظة فى شكل دائرة حول بئر الإنتاج .

قبل بدء اختبار الضخ يجب عمل برنامج قياسات العمق إلى المياه مقدماً . يلزم عمل القياسات فى كل الآبار فى نفس الوقت . يتم ضبط الساعات المستخدمة لقياس الوقت لمعرفة الوقت للمضبوط بالدقيقة والساعة لكل قراءة عند بدء الضخ . باستخدام أجهزة للقياس التى تعطى نتائج دقيقة وسريعة . يتم قياس الانخفاض فى بئر الضخ وآبار الملاحظة . لقياس الانخفاض فى بئر الضخ فإن أفضل جهاز للقياس هو الذى يوفر الإضاءة أو إشارات صوتية عند غمر طرف المجس فى الماء . وذلك رغم أن خطوط الهواء يمكن أن توفر الدقة للضرورة .

عند استخدام تجهيزات كهربية يتم قفل الدائرة عند لمس المجس لسطح الماء يتم

توضيح ذلك بإشارة ضوئية أو عددا قياس شكل (٦ / ١١) . يتم توفير بطاريات إضافية لتوفير للتيار . للمجسات من شرائط الصلب تعطى نتائج دقيقة فى آبار المياه لعمق حتى ٣٠ متر .

أجهزة القياس المناسبة لقياس الانخفاض هى مقياس الضغط (Pressure Gauges)
(فى آبار الضغط . فى هذه الأجهزة يقاس عمق عامود المياه بالقدم أو بالرتل على البوصة للمربعة . الجدول (١١-١) يوضح محاملات للتحويلة للقراءات .

جدول (١١-١) للتحويلات للقراءات أثناء اختبار الضغط

الوحدة	رتل/بوصة مربعة	قدم ماء	متر ماء	بوصة زئبق	جوى
ارطل / بوصة مربعة	١	٢,٣١	٠,٧٠٤	٢,٠٤	٠,٠٦٨١
١ قدم ماء	٠,٤٣٣	١,٠٠	٠,٣٠٥	٠,٨٨٢	٠,٠٢٩٤٧
١ متر ماء	١,٤٢١	٣,٢٨	١,٠٠	٢,٨٩	٠,٠٩٦٧
١ بوصة زئبق	٠,٤٩١	١,١٣٤	٠,٣٤٥٦	١,٠٠	٠,٠٣٣٤
١ جوى (منسوب سطح البحر)	١٤,٧	٣٣,٩٣	١٠,٣٤	٢٩,٩٢	١,٠٠

للشكل (٧- ١١) يوضح ماسورة الهواء لقياس مناسيب المياه فى البئر لتعيين عمق الماء . تعمل هذه التجهيزة على مبدأ أن ضغط الهواء اللازم لدفع الماء عمق الجزء المغمور من الماسورة يساوى ضغط عامود الماء عند هذا الارتفاع .
الفترات لزمينة لقياس الانخفاض أثناء اختبار معدل الضغط الثابت . يتم ضبط ساعات كل المرشحين قبل بدء الاختبار ، يتم تسجيل للتوقيتات لأقرب ١٠ ثوان .
قياسات منسوب المياه لبئر الضغط يتم تسجيلها فى التوقيتات فى الجدول (٢-١٠) .
الانخفاض فى آبار الملاحظ يتم قراءته فى الفترات فى الجدول (٣-١٠) وذلك أثناء اختبار الضغط .

جدول (١١-٢) الفترات الزمنية لقياس الانخفاض فى بئر الضخ أثناء اختبار

للضخ:

الوقت عند بدء أو إيقاف الضخ بالدقائق	الفترات الزمنية بين القياسات بالدقائق
صفر - ١٠	١ - ٠,٥
١٥ - ١٠	١
٦٠ - ١٥	٥
٣٠٠ - ٦٠	٢٠
١٤٤٠ - ٣٠٠	٦٠
١٤٤٠ - نهاية الاختبار	٤٨٠ (٨ ساعات)

جدول (١١-٣) الفترات الزمنية لقياس الانخفاض فى بئر (أبار) الملاحظة أثناء

اختبار الضخ :

الوقت عند بدء الضخ أو إيقافه بالدقائق	الفترات الزمنية بين القياسات بالدقائق
صفر - ٦٠	٢
١٢٠ - ٦٠	٥
٢٤٠ - ١٢٠	١٠
٣٦٠ - ٢٤٠	٢٠
١٤٤٠ - ٣٦٠	٦٠
١٤٤٠ - نهاية الاختبار	٤٨ (٨ ساعات)

بيانات الاختبار المبكرة هامة جداً ، يلزم للحصول على معظم البيانات الممكنة فى العشرة دقائق الأولى للضخ لكل بئر ملاحظة . السبب فى ذلك أن قمع الانخفاض الذى يتحرك إلى الخارج من البئر قد يقابل عدم تجانس للتربة ولذى إما يجعل أو يبطئ الانخفاض مع زيادة الوقت . لاختبارات الضخ المثالية يجب أن تستمر حتى الوصول إلى حالة الاتزان ، أى حتى يستقر قمع الانخفاض . عملياً هذا نادراً ما يحدث . فى الخزانات الجوفية المحصورة ينتشر قمع الانخفاض سريعاً . لهذا ٢٤ ساعة كافية عادة لتوفير البيانات التى يعتمد عليها . للحصول على المعلومات الكافية عن الخزان الجوفى للغير محصور يلزم ٧٢ ساعة عادة لسحب المياه من قمع

الانخفاض . وهذا الوقت يمكن خفضه فى حالة الوصول إلى حالة الاتزان قبل ٧٧ ساعة .

بيانات الاستعادة.

كلما أمكن ذلك يلزم أخذ بيان الاستعادة لمراجعة دقة بيانات الضخ ، بيان الاستعادة يمكن الاعتماد عليها لعدم حدوث ضخ . قياسات الاستعادة يتم تسجيلها بنفس المعدل كما فى حالة الضخ .

كفاءة البئر ، (Well Efficiency)

تعرف كفاءة البئر بالنسبة ما بين الطاقة النوعية الحقيقية عند تصميم تصريف البئر بعد ٢٤ ساعة من الضخ المستمر ، أقصى طاقة نوعية ممكنة محسوبة من خصائص التربة وهندسة البئر . وفى هذه الطريقة لتعريف الكفاءة ، يمكن التعرف على الفقد فى الضغط بسبب للتربة ويسبب إنشاء البئر الذى يسببه للخران الجوفى وتركيب المصفاة والظهير للزلطى .

طريقة حساب كفاءة البئر كالاتى :

- مخطط بيانات الوقت - الانخفاض
- يتم حساب ΔS (الانخفاض بين توقيتين على المنحنى اللوغريتمى) .
- عند وقت محدد ، لاحظ الانخفاض فى بئر الملاحظة .
- وقع الانخفاض على مخطط المسافة - الانخفاض لبئر الملاحظة (لوقت معين) على المسافة المناسبة من بئر الضخ .
- أكمل منحنى الانخفاض باستخدام ميل ضعف ΔS (فى المعادلة :
- $\log r_2 = 2 \log r$ ولذا فإن قيمة ΔS فى مخطط المسافة - الانخفاض هى ضعف قيمة ΔS فى مخطط الوقت - الانخفاض) .
- يتم امتداد ميل البيانات إلى نصف قطر البئر .
- فى حالة كفاءة البئر ١٠٠ % فإن الانخفاض خارج قطر الحفر مباشرة يجب أن يساوى الانخفاض دخل البئر ، ولكن كثيراً ما يحدث عادة أن يكون منسوب

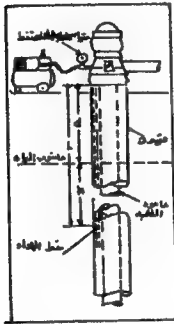
المياه داخل البئر أكثر تخفافاً . لذلك فإن الكفاءة تساوى الانخفاض خارج قطر

الحفر مقسوماً على الانخفاض داخل قيسون البئر مضروباً فى ١٠٠ .

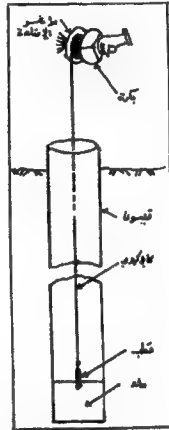
• يمكن الحصول على كفاءة من ٧٠ إلى ٨٠% للبئر عادة فى حالة التصميم الجيد

وكذلك فى الإنشاء والتنمية الجيدة للبئر .

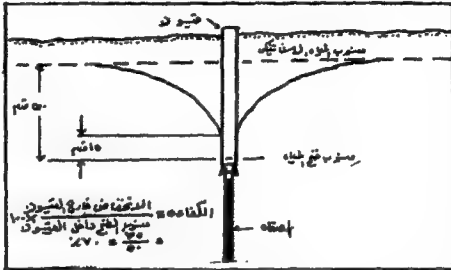
مثال لحساب الكفاءة موضح فى الشكل (٨- ١١) .



شكل (٧-١١) قياس منسوب المياه باستخدام
الهواء



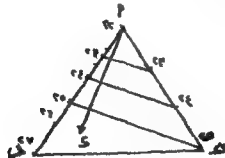
شكل (٦-١١) قياس عمق الماء بالطريقة الكهربائية



شكل (٨-١١) حساب كمادة البئر الحقيقية لبئر له طاقة عالية (High Capacity)

تحديد اتجاه حركة المياه الجوفية الحرة.

يستعان فى تحديد اتجاه حركة المياه الجوفية الحرة برصد مناسيب سطح المياه الجوفية من دخل ثلاث آبار تشكل رءوس مثلث أ ب ج كما هو موضح فى الشكل (٩-١١). بفرض أن منسوب خط للمياه الجوفية من سطح الأرض هو ٢٢ ، ٢٧ ، ٢٥ . وذلك لدخل الآبار أ ، ب ، ج بالتتالى . أى أن أعلا منسوب للمياه الجوفية هو فى البئر أ يليه البئر ب يليه البئر ج . عندئذ فإن المياه الجوفية ستتحرك من المنسوب الأعلى إلى الأقل أى سيكون تحرك المياه الجوفية فى اتجاه الخط أ - ب أى عمودى على خطوط تساوى المنسوب .



شكل (٩-١١)

٣- إصيانة والإصلاح للبئر :

إصلاح البئر يعنى استعادة كفاءته بطرق المعالجة المختلفة أو بإعادة الإنشاء كما فى حالة استبدال المصفاة . الصيانة المخططة للتغلب على مشاكل معينة يمكن أن تحافظ على كفاءة البئر وزيادة فترة استخدامه .

تبنى خطة للصيانة على البيانات الأولية عند الإنشاء مثل الظروف الجيولوجية نوعية المياه وكفاءة الضخ وخاصة الطاقة النوعية . كما يمكن الاستعانة ببيانات الآبار التى تعمل فى نفس المنطقة لعمل خطة للصيانة والإصلاح. توجد متغيرات كثيرة حيث لا يوجد برنامج واحد مناسب لكل أنواع الآبار وكل الظروف الهيدرولوجية . يجب وضع نظام للتفتيش والصيانة طبقاً لخصائص البئر والطلبة ، مع ملاحظة أى تغير فى خصائص التشغيل للبئر والطلبة ، حيث أن كليهما يمكن أن يحدث له تلف بما يجعل عملية الإصلاح صعبة وإن لم تكن مستحيلة . ولقد أظهرت الخبرة أنه فى حالة انخفاض الطاقة النوعية للبئر بنسبة ٢٥% يكون هو الوقت المناسب فى بدء الإصلاح، حيث ما بعد ذلك يزيد من تكاليف الصيانة والإصلاح .

البيانات التالية تستخدم لتقييم كفاءة البئر :

- ◆ منسوب المياه الاستاتيكي
- ◆ معدل الضخ بعد زمن معين من بدء الضخ
- ◆ منسوب للضخ للمياه بعد زمن معين من بدء الضخ
- ◆ الطاقة النوعية
- ◆ المحتوى من الرمال
- ◆ للعمق الكلى للبئر
- ◆ كفاءة البئر
- ◆ معدل الضخ الطبيعى وعدد ساعات التشغيل خلال اليوم
- ◆ منسوب المياه فى الآبار المجاورة
- ◆ الانخفاض فى البئر عند الضخ من الآبار المجاورة

أى تفسير واضح فى أى من السبع حالات الأولى يبين أهمية ملاحظة البئر أو الطلمبة . فمثلاً انخفاض الطاقة للنوعية يمكن أن يكون بسبب انسداد فتحات المصفاة . يتم عمل اختبارات ضخ للبئر وتسجيلها ومقارنتها بالبيانات الأصلية للتقييم . يجب عمل سجل كامل للبئر للمساعدة فى عمل الإصلاح والصيانة .

الجدول (١١-٤) يبين معظم مشاكل الآبار فى الخزانات الجوفية المختلفة وفترات الإصلاح اللازمة لحالات المشاكل التى تحدث عادة فى الآبار فى أنواع التربة للخزانات الجوفية وفترات الصيانة المطلوبة هى كالتالى :

جدول (١١-٤) مشاكل الآبار فى أنواع التربة المختلفة وفترات الصيانة اللازمة

نوع الخزان الجوفى	معظم المشاكل الشائعة فى الآبار	الصيانة للشائمة وفترات عملها
طافية، طمي، رمل Alluvial	ترسيبات على المصفافى من الطفل والطمى والحديد والرمال وترسيبات بيولوجية، تلف القيسون .	٢ - ٥ سنوات
الحجر الرملى	انسداد ، تلف القيسون ، ضخ الرمال ، للتاكل .	٦ - ١٠ سنوات
الحجر الجبرى	الانسداد بترسيبات الحجر الجبرى والطفلة والطمى .	٦ - ١٢ سنة
التربة الرسوبية المتماسكة	انسداد بالحديد ومواد أخرى إنتاجية منخفضة ومتوسطة .	٦ - ٨ سنوات
تربة تحويلية	إنتاجية أولية منخفضة، انسداد بالطفل والطمى ومواد أخرى .	١٢ - ١٥ سنة
تربة رسوبية متماسكة وشبه متماسكة .	ترسيبات على المصفاة من الطفلة والطمى والرمال والزلط . وكذلك انسداد الفتحات الموصلة للمياه فى الحجر الجبرى بواسطة الزلط والرمال والطفلة والطمى ، ترسبات بيولوجية ، ترسيبات الحديد .	٥ - ٨ سنوات

لهذا فإن مشاكل الآبار فى أنواع التربة المختلفة تظهر فى فترات زمنية متوسطة ما بين ٢ - ٦ سنوات فى معظم الحالات .

الأسباب الرئيسية لخفض كفاءة البئر :

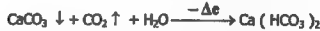
المشاكل المألوفة التى تحدث للآبار مع مرور الوقت هى :

- الخفض فى إنتاجية البئر :
- يرجع انخفاض إنتاجية البئر بسبب الترسيبات الكيماوية أو البيولوجية لمصفاة البئر ومسام التربة حول مصفاة البئر .
- تلف المصفاة وتغير حالة التربة المحيطة بها .
- الخفض فى خط المياه الاستاتيكي بسبب ظروف مناخية أو التدخل مع آبار مجاورة .
- استمرار الضخ مع عدم وصول المياه بالكمية اللازمة أى خفض الانتقال .
- انسداد مسام التربة حول المصفاة حيث تنخفض الطاقة النوعية بنسبة ١٠ - ٢٠% .
- ضخ الرمال .
- انهيار القيسون و / أو المصفاة .
- تلف الطلمبة
- ١ - الترسيبات المسببة لأعطال البئر ترجع للأسباب الآتية :
- ترسبات كربونات الكالسيوم والمغنسيوم أو كبريتات الكالسيوم والمغنسيوم .
- ترسبات مركبات الحديد والمنجنيز وأساساً الأيدروكسيدات أو الأكاسيد المائية
- الانسداد يسبب البكتريا المؤكسدة للحديد أو أنواع البكتريا الأخرى .
- أ - أسباب ترسيب الكربونات :

الترسيب الكيماوى ينتج منه ترسيب للكربونات وأساساً كربونات الكالسيوم من المياه الجوفية قريباً من مصفاة البئر . بعض المواد الأخرى مثل سيليكات الألومنيوم ومركبات الحديد يمكن أن تحتجز فى المواد الكربونية حيث تعمل على التصاق حبيبات

للمرمل وتماسكها حول المصفاة . هذه الترسيبات تملأ الفراغات بما يسبب خفض تدفقات المياه إلى البئر . والسبب فى حدوث ذلك هو مع ضخ البئر ينخفض الضغط الهيدروستاتيكي فى الأجزاء السفلى للتكوينات الحاملة للمياه . ونتيجة خفض الضغط يتحرر بعضاً من ثانى أكسيد الكربون من الماء . عند حدوث ذلك فإن جزء من أملاح الكربونات لا تحملها المياه وترسب لكونها غير مذابة .

ترسيب كربونات الكالسيوم هو نتيجة تحرر ثانى أكسيد الكربون من البيكربونات المذابة عند خفض الضغط



إذابة بيكربونات الكالسيوم ١٣٠٠ ملجرام/لتر وإذابة كربونات الكالسيوم ١٣ ملجرام/لتر . يتسرب ثانى أكسيد الكربون عند انخفاض الضغط . أما بيكربونات المغنسيوم فإنها تتحول إلى كربونات المغنسيوم بنفس الطريقة . ولكن نظراً لأن كربونات المغنسيوم تنوب فى الماء عند تركيز ٥٠٠٠ ملجرام/لتر فإن الترسيب يحدث فقط عند زيادة تركيزها عن هذا الحد .

حالات وجود أملاح البيكربونات للكالسيوم والمغنسيوم هى بسبب وجود ثانى أكسيد الكربون الناتج عن التحلل اللاهوائى للمواد العضوية فى التربة والذي يحول الأملاح فى الصخور من الحجر الجيري والدولوميت إلى مركبات البيكربونات من الكالسيوم والمغنسيوم التى تنوب فى الماء .

ب - أسباب ترسيبات الحديد والمنجنيز .

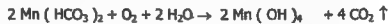
كثيراً من الصخور تحتوى على الحديد والمنجنيز وهى المصدر لأيونات الحديد والمنجنيز الموجود فى المياه الجوفية فى حالة وصول الرقم الهيدروجينى إلى ٥ أو أقل . عند الضخ فإن التغير فى الضغط الناتج عن السرعة يغير فى الاتزان الكيميائى للمياه الجوفية بما ينتج عنه ترسيب أيروكسيد الحديد والمنجنيز لغير مذاب . هذه الأيدروكسيدات لها قوام جيلاتينى وتشغل حجم أكبر نسبياً . مع الوقت فإنها تجف وترسب. الحديد المذاب يتأثر بالضغط المنخفض كما فى المعادلة .

إذابة لأيدروكسيد الحديدوز ٢٠ ملجرام / لتر . فى حالة وجود الأكسجين بالتهوية أثناء الضخ يحدث ترسيب إضافى لأيدروكسيد الحديدك .



إزابة لأيدروكسيد الحديدك أقل من ٠,٠١ ملجرام / لتر .

المنجنيز المذاب يتحول إلى غير مذاب بنفس الطريقة مثل الحديد .



الأكسدة التالية لأيدروكسيدات الحديد والمنجنيز أو الزيادة فى الرقم الهيدروجينى

تسبب تكون الأكاسيد المائية المحتوية على هذه الأيونات . كمثال فإن الحديدوز المذاب يمكن أن يتفاعل مع الأكسجين مكوناً أكسيد الحديدك .



أكسيد الحديدك راسب أحمر بنى يشبه الصدأ ، بينما أكسيد الحديدوز المائى عبارة عن راسب أسود . أكسيد المنجنيز الغير مذاب هو كذلك أسود أو بنى غامق .

توجد ترسيبات الحديد والمنجنيز عادة مع راسب الكالسيوم والمغنسيوم . فى قمع الانخفاض حول البئر فى الخزائن الجوفى الغير محصور ، يدخل الهواء فى مسام التربة ويؤكسد الحديد فى سطح المياه المتصقة بحبيبات الرمال . فى حالة التشغيل المتقطع للطلبة يمكن أن تتكون طبقة من أكسيد الحديد بما يقلل من الفراغات فى مسام التربة فى هذا الجزء من التكوينات ، وهذا يقلل من السعة التخزينية للتربة القريبة من البئر وذلك يجعل قمع الانخفاض يتسع بسرعة

معالجة ومنع مشاكل الترسيبات .

توجد عدة إجراءات تعمل على تعطيل تكون الترسيبات والإقلال من مخاطرها

وهى :

- يتم تصميم مصفاة البئر لتكون ذات مساحة دخول أكبر ما يمكن من خفض سرعة دخول المياه إلى المصفاة إلى أقل ما يمكن .

- تتم التنمية الجيدة للبئر .
- معدل الضخ يقل وزمن الضخ يزداد بما يقلل من سرعة دخول المياه .
- احتياجات الضخ تقسم بين عدد كبير من الطلمبات ذات القطر الصغير بدلاً من الحصول على كمية المياه من بئر ضخ قطره كبير .
- عمل خطة للصيانة وللنظافة الدورية لكل بئر عند وجود حالات مشابهة من الترسيبات فى الموقع .

معالجة الآبار بالاحماض:

يمكن إزالة الترسيبات بمعالجة الآبار بحامض قوى . محلول للأحماض القوى يذيب مواد الترسيبات حيث يمكن ضخها خارج البئر . الأحماض المستخدمة لصيانة الآبار هى حامض الهيدروكلوريك (HCL) وحامض السلفاميك (Sulphamic Acid - H_2NO_3S).

حامض الهيدروكلوريك.

حامض الهيدروكلوريك هو واحد من أكثر الأحماض لإزالة للرواسب من الأملاح المعدنية . حامض الهيدروكلوريك هو عبارة عن إذابة غاز كلوريد الهيدروجين فى الماء ولونه يميل إلى اللون الأصفر . ويوجد تجارياً بتركيز ٢٨ إلى ٣١ % كلوريد الهيدروجين (يعادل ١٨ - ٢٠ درجة بومى) . يستخدم مثبط للتآكل مع استخدام الحامض لخفض تأثير التآكل للحامض على معدن المصفاة والقيسون ، ومكونات الطلمبة.

يتم عادة إدخال الحامض إلى مصفاة البئر من على سطح الأرض خلال ماسورة بلاستيك أو حديدية ذات قطر صغير . يفضل استخدام كمية من الحامض تساوى كمية المياه فى المصفاة مضافاً إليها من ٥٠ إلى ١٠٠ % لوصول الحامض إلى التربة حول المصفاة . كمية الحامض المستخدم فى الآبار ذات الأقطار الكبيرة وللصغيرة موضحة فى الجدول (٥-١١) .

جدول (٥-١١) كمية الحامض المستخدم فى الآبار ذات الأقطار الكبيرة

والصغيرة

كمية حامض الهيدروكلوريك (١٨-٢٠ بومى) لكل قدم (٣٠ سم) من طول للمصفاة بالتر	قطر المصفاة	
	بالبوصة	بالمتر
٠,٤٢ - ٠,٥٣	١,٥	٣٨
٠,٧٦ - ٠,٩١	٢	٥١
١,٢٥ - ١,٤٨	٢,٥	٦٤
١,٧٤ - ٢,١٢	٣,٠	٧٦
٢,٣٨ - ٢,٨٤	٣,٥	٨٢
٣,٧ - ٣,٧١	٤,٠	١٠٢
٣,٩٤ - ٤,٧٣	٤,٥	١١٤
٤,٨٤ - ٥,٧٩	٥	١٢٧
٥,٨٣ - ٧,٠٠	٥,٥	١٤٠
٦,٩٦ - ٨,٣٦	٦	١٥٢
١٢,٣ - ١٨,٤	٨	٢٠٣
١٩,٣ - ٢٣,٢	١٠	٢٥٤
٢٧,٨ - ٣٣,٤	١٢	٣٠٥
٣٧,٩ - ٤٥,٤	١٤	٣٥٦
٤٩,٤ - ٥٩,٤	١٦	٤٠٦
٧٧,٢ - ٩٢,٧	٢٠	٥٠٨
٩٣,٥ - ١١٢	٢٤	٦١٠

حامض السلفاميك.

حامض السلفاميك مادة حبيبية بيضاء جافة ينتج عنها حامض قوى عند خلطها بالماء . إذبلتها فى الماء تزداد بارتفاع درجة ، تتراوح ما بين ٥ إلى ٢٠ % بالوزن عند درجات حرارة للمياه الجوفية . رغم أن حامض السلفاميك مكلف أكثر من حامض

الهيدروكلوريك إلا أنه أقل فى العدوانية . وهذا الحامض له عدة مزايا ، فى الحالة الجافة يمكن تداوله بأمان ، للمادة الجافة لا تنتج أبخرة ولا تحدث مشاكل فى الجلد . عند الخلط بالماء يتم تداوله كأى حامض آخر بما يتطلب الحذر . عند المعالجة تتصاعد أبخرة بمعدل بطيء نسبياً نظراً لبطء إذابة الحامض وهذه الأبخرة خطيرة مما يتطلب عمل إجراءات للتهوية . تتخفض احتمالات التآكل للمصفاة والقيسون والطللمبة عند إضافة مثبط للتآكل مع حامض السلفاميك . يوجد حامض السلفاميك فى شكل أقراص ، حبيبات ، بودرة . تستخدم أقراص الحامض فى الآبار المجهزة بمصفاة قصيرة نسبياً موضوعة فى قاع البئر . نظراً لأن الحبيبات أقل من الماء فإنها تترسب فى القاع ثم تذوب فى المصفاة . تذوب الحبيبات خلال حوالى ٤ ساعات فى حالة عدم حدوث تشبع . يزداد إذابة الحامض بتقليب الهاء فى المصفاة . تتحدد كمية الحامض لمعالجة البئر إما طبقاً لقطر كمية ٣٠ % من وزن الماء فى مصفاة البئر حيث استخدام حبيبات لحامض للمصفاة صغيرة وكبيرة للقطر للمصفاة الأقل من ٣٠ متر فى الطول . كما تستخدم حبيبات الحامض فى الآبار العميقة حيث تذوب أثناء تحركها نحو المصفاة بما يتطلب إضافة مياه نظيفة لدفع الحامض نحو التربة . فى حالة الآبار العميقة يفضل عمل محلول من أقراص أو حبيبات الحامض ويتم إنزاله خلال ماسورة السحب للبئر . يستخدم محلول بتركيز ١٠% ويفضل أن يكون للتركيز ٣٠% . حامض السلفاميك مفيد فى معالجة الترسبات من الكالسيوم والمغنسيوم ولكنه قليل التأثير بالنسبة للحديد والمنجنيز أما فى حالة الملح الصغرى بنسبة ١ كيلو جرام لكل ٥ كيلو جرام حامض يكون الحامض فى هذه الحالة قادر على إزالة ترسبات الحديد والمنجنيز . تفاعلات حامض السلفاميك مع الأملاح المعدنية مثل تفاعلات حامض الهيدروكلوريك ولكن يبطئ جداً بما يتطلب التقليب أثناء الإذابة وبعدها . يلزم زمن ١٥ ساعة على الأقل للحصول على نتائج الإزالة . كما يلزم التقليب القوى قبل سحب الحامض إلى الصرف .

يجب عدم حدوث لبس بين حامض السلفاميك وحامض الكبريتيك حيث الأخير

يتفاعل مع الكالسيوم مكوناً كبريتات الكالسيوم التى تحدث انسداد للمصفاة هذا بالإضافة إلى أن حامض الكبريتيك شديد العدوانية مما يعرض المصفاة والقيسون للتآكل .
جدول (٦-١١) كمية حامض السلفاميك اللازمة لمعالجة الانسداد فى مصفاة البئر

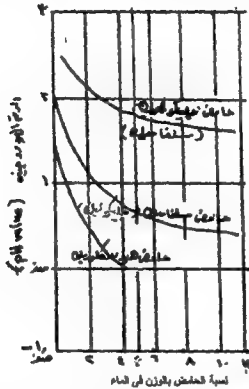
كمية الحامض اللازمة كيلوجرام / متر طولى	سعة الماسورة لتر / متر طولى	قطر الماسورة	
		مليمتر	بوصة
٢,٤	٨,٧	١٠٢	٤
٣,٩	١٢,٤	١٢٧	٥
٥,٥	١٨,٦	١٥٢	٦
٩,٧	٣٢,٣	٢٠٣	٨
١٥,٢	٥٠,٩	٢٥٤	١٠
٢١,٩	٧٣,٢	٣٠٥	١٢
٢٩,٨	٩٩,٣	٣٥٦	١٤
٣٨,٩	١٢٩	٤٠٦	١٦
٤٩,٢	١٦٤	٤٥٧	١٨
٦٠,٨	٢٠٢	٥٠٨	٢٠
٧٣,٦	٢٤٦	٥٥٩	٢٢
٨٧,٥	٢٩٢	٦١٠	٢٤
١١٩	٣٩٧	٧١١	٢٨
١٣٧	٤٥٥	٤٦٢	٣٠
١٥٦	٥١٩	٨١٣	٣٢
١٧٦	٥٨٦	٨٦٤	٣٤

هيدروكسى أسيد Hydroxy acetic Acid يمكن تسميته كذلك أيدروكسيد

حامض الخليك ويسمى كذلك حامض الجلايكوليك (Glycolic Acid) . وهذا الحامض مسائل لحامض عضوى يتوفر بنسبة تركيز ٧٠ % . ورغم أنه غير شائع الاستعمال مثل حامض الهيدروكلوريك والسلفاميك إلا أن استخدامه أعطى نتائج باهرة فى معالجة الآبار . وهو حامض آمن عند الاستعمال نظراً لأنه غير عدوانى نسبياً وينتج عنه

أخسنة قليلة جداً. بالإضافة إلى قدرته فى إذابة الترسيبات من الأملاح المعدنية فإن حامض الجليكوليك له ميزة أخرى تتفوق على للحامضين الآخرين وهى أنه قاتل جيد للبكتريا ولذلك فهو مؤثر فى معالجة الآبار التى تعاني من مشاكل للبكتريا المؤكسدة للحديد لذلك فهو قاتل للبكتريا ومذيب لكل الرواسب من الحديد وغير الحديد . ميزة أخرى لهذا الحامض وهو أنه حامض حاضن أى له القدرة على الالتفاف حول أيونات المعادن مثل الحديد والكالسيوم والمغنسيوم وهو ما يسمى / (Chelating Agent / Sequestering) وهذا يعنى أن الترسيبات المذابة بواسطة الحامض تظل فى المحلول خلال كل مرحلة المعالجة . جليكوليك أسيد أضعف من أحماض السلفاميك الهيدروكلوريك مما يتطلب زمن لتتصاق أكبر لتحقيق الإزالة للترسيبات . يوضع حامض الهيدروكسى أسيتيك أسيد بنفس الطريقة التى يوضع بها حامض الهيدروكلوريك فى البئر حيث يستخدم حوالى ٣,٨ لتر من الحامض بتركيز ٧٠ % لكل ٦٠ لتر من الماء فى المصفاة .

سرعة إزالة الحامض للترسيبات تتوقف على الرقم الهيدروجينى للحامض (قوة الحامض) . الشكل (٩-١١) يبين كيف أن الرقم الهيدروجينى يتغير مع التركيز للأحماض المذكورة . يلاحظ أن حامض الهيدروكلوريك لديه أدنى رقم هيدروجينى ولذلك فإن تأثير أدلوه أسرع بينما حامض الجليكوليك لديه أعلى رقم هيدروجينى ولذلك سيكون أدلوه أبطأ عن باقى الأحماض .



شكل (٩-١١) أحماض مختلفة يتركز واحد تغطي محاليل ذات رقم هيدروجين مختلف

استخدام الأحماض فى معالجة الآبار :

يجب للحذر عند وضع الحامض للسائل فى البئر حيث يلزم أن يقوم بهذا العمل أفراد مدربين على صيانة الآبار . عند استخدام أحماض سائلة يجب أن يرتدى العمال نظارات واقية وملابس واقية . كذلك يستخدم جهاز تنفس لتتقية الهواء يرتديه العاملين والأفراد المجاورين أثناء العمل . كل أحواض الخلط وظلمبات الضخ والمواسير المستخدمة تكون من البلاستيك أو الحديد الاسود لتقليل تفاعلات الحامض . يجب توفير كمية كبيرة من المياه أو خزان مياه به محلول بيكربونات للصوديوم لمواجهة احتمالات الحوادث . توفير التهوية المناسبة حيث أن للغازات المتصاعدة من البئر خطورة .

إدخال سائل الحامض إلى البئر خلال ماسورة ذات قطر صغير . فى حالة زيادة طول المصفاة عن ١,٥ متر يتم إضافة الحامض للسائل على ١,٥ متر السفلى للمصفاة

أو ترفع الماسورة وتملاً ١,٥ متر للتالية من المصفاء ويستمر العمل بهذه الطريقة حتى تمام ملئ المصفاء بالحامض السائل . عند وضع حبيبات الحامض فى القيسون فإنها تستقر فى المصفاء حيث تنوب . عند وضع المسحوق من الحامض فإنه يذوب خلال عمود الماء فى البئر . بعد وضع الحامض فى البئر (أو إذابة حبيبات الحامض) . يتم وضع كمية من المياه تساوى كمية الماء فى المصفاء وذلك لدفع محلول الحامض فى مصفأة البئر خلال فتحات المصفاء إلى التربة المحيطة بالمصفاء . يتم استخدام بعض طرق التقلب مثل كتلة الاضطراب (surge Block) عند وجود الحامض فى البئر للمساعدة فى تقطير الترسبات وتحسين الكفاءة الكلية للعملية . هذه الخطوة مهمة حيث أنها تعرض الترسبات للحامض بما يؤكد أقصى إزالة .

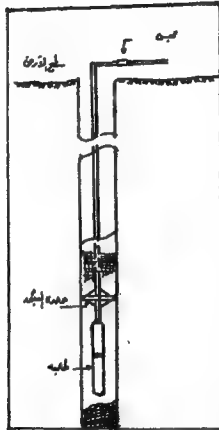
يستخدم كتلة الاضطراب أو أدوات (gettig) تعتبر طرق مؤثرة فى التقلب للبئر زمن التقلب يتوقف على كمية الرواسب فى البئر . فى حالة استخدام كتلة الاضطراب فإن عملية الاضطراب والتقلب تنفع بالحامض إلى التربة وبالمواد المفتتة إلى المصفاء . فى عملية البثق يتم أولاً وضع الحامض فى البئر ثم يتم بثق المصفاء بمياه نظيفة من السطح أو باستخدام المياه الحامضية من البئر شكل (١٠-١١) . يلزم الحرص دائماً عند استخدام الحامض فى عمليات إصلاح البئر .

منطقة التربة الممتدة حول مصفأة البئر قد تكون مقفلة للمسام جزئياً أو كلياً . ولذلك فلا يجب الافتراض أن محلول الحامض سيتحرك فى كل مكان إلى الخارج فى مسام التربة وخلال كل السمك .

يوضى باستخدام عوامل الإحتضان (chelating Agents) فى حالة وجود رواسب الحديد والمنجنيز وفى حالة الرقم الهيدروجينى لمحلول المعالجة حوالى ٣ أو أقل . عند هذا الرقم الهيدروجينى فلإن هذه الكاتيونات ترسب بما يؤثر على فعالية محلول المعالجة . مواد الإحتضان هى أملاح السيتريك والفوسفوريك والتريتيك المستعملة فى هذه الحالات يستخدم ١,٨ كيلوجرام من حامض الإحتضان إلى كل ٤ لتر من حامض الهيدروكلوريك تركيز ٣٠% (٢٠ درجة يومى) ويضاف ١ كيلو جرام لكل

٧ كيلو جرام من حامض السلفاميك .

بعد عملية للتقليب الميكانيكى يترك المحلول فى البئر ليتفاعل مع مواد الترسيب حتى وصول الرقم الهيدروجينى إلى ٦,٥ - ٧ ثم التقليب ثانيا والضحخ إلى الصرف . الزمن اللازم لاتمام للتفاعل يتغير ما بين عدة ساعات حتى ١٥ ساعة طبقا لنوع الحامض المستخدم وكمية المواد المرسبة . بهدف خفض للصرف يتم معادلة المياه فى البئر عند الضرورة قبل صرفها من البئر أو بصرف مياه البئر خلال إناء مملوء بكسر الحجر الجيرى (أو المحروق) . وقد يتم صرف المياه للحامضيه فى تربة رملية بعيد جدا عن صرف البئر . فى بعض الحالات يتم تتمية البئر بعد المعالجة الكيميائية . يمكن إزالة الأجسام الصلبة مع الرواسب التى دخلت المنطقة المحيطة بالمصفاة بعد بدء تشغيل البئر . فى كثير من الحالات فإن التتمية المؤثرة للآبار القديمة التى عولجت بالكيمائويات تحقق طاقة نوعية تساوى أو تزيد عن الطاقة للنوعية الأصلية . يفضل فى كثير من الحالات إستخدام الطرق الميكانيكية لإزالة للترسيبات المسببة لقفل فتحات المصفاة قبل استخدام محلول الحامض بهدف الحد من استهلاك الأحماض . حيث تستخدم فرشاه من السلك أو أى وسيلة لإزالة للترسيبات داخل فتحات المصفاة .



شكل (١٠-١١) يمكن عمل البثق باستخدام طلمبة بئر فى البئر وباستخدام المياه الحمضية وذلك لتجنب خطورة عملية فتح الحامض عند السطح

الطرق الكيميائية للقضاء على بكتريا الحديد :

فى حالة نمو بكتريا الحديد فى البئر فإنه يمكن إيقافها بالمعالجة الكيميائية وبعض الطرق الأخرى . وتعتبر للمعالجة الكيميائية الأكثر تأثيرا والأقل فى التكلفة . ولكن المعالجة الكيميائية تحتاج إلى تقليب المياه فى البئر . وتتم عملية التقليب بالبثق بالماء أو الهواء أو باستخدام كتلة الإضطراب الهيدروليكي . الكيماويات يمكن أن تؤكسد أو تحرق المواد العضوية . الأكسدة تعتبر الطريقة العادية لقتل البكتريا وكذلك تفكك الرواسب الناتجة عنها .

الكلور : يستخدم الكلور بتركيز ٥٠ ملجرام /لتر فى تطهير البئر والمواسير بعد

الأنشاء أولا صلاح أو إنشاء الطلبة . بينما تستخدم جرعة من الكلور يتركز من ٥٠٠ إلى ٢٠٠٠ ملجرام /لتر لمعالجة البئر إذا كان الإسداد بفعل البكتريا . ويمكن الحصول على تركيز ٥٠٠ ملجرام /لتر بإذابة ٠,٢ كيلو جرام من غاز الكلور فى متر مكعب ماء . التعبير بصدمة الكلور تعنى محلول الكلور بتركيز ١٠٠٠ ملجرام /لتر أو أكثر . الجدول (٦-١١) يوضح كميات مواد الكلور اللازمة للحصول على مختلف تركيزات الكلور .

جدول (٦-١١) كمية مواد الكلور اللازمة للحصول على تركيز الكلور فى ٣,٨

متر مكعب ماء

حبيبات هيبوكلوريت للكالسيوم تركيز ٦٥% كلور بالجرم	محلول هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز				للتكريز ملعوم /لتر
	١٢,٥%	١٠%	٥%	٣%	
٠,٣	١,٥	١,٩	٣,٨٥	٦,٤	٥٠
٠,٦	٣,٠٠	٣,٨	٧,٦	١٢,٥	١٠٠
٢,٩	١٥,١	١٨,٩	٣٧,٩	٦٣,٢	٥٠٠
٥,٨	٣٠,٣	٣٧,٩	٧٥,٧	١٢٦,٠	١٠٠٠

استخدام غاز الكلور المذاب بشكل خطوره على العاملين نظرا لأنه إستنشاقه قاتل وأن يمكن استخدامة بجرعات حتى ٥٠ ملجرام /لتر . ولكن شيوعا هو هيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم نظرا لقلة خطورته على العاملين . يتم إدخال محلول الهيبوكلوريت بواسطة ماسورة من البلاستيك بنفس الطريقة المستخدمة فى إنزال الحامض . وتلائم هذه الطريقة الآبار للصغيرة . أما فى حالة الآبار ذات الإنتاج الكبير لا مكان قتل بكتريا الحديد والتي قد تتوصل فى الرواسب يتم عمل الآتى :

♦ حقن محلول الحامض ومثبط التآكل وقد يضاف عامل إحتقان مثل جايكوليك

أسيد .

♦ يتم تغليب المحلول بأداه تغليب أو .

- ♦ يتم الضخ لصرف حجم من المياه يساوى المياه الموجودة فى البئر .
- ♦ يتم قياس الرقم الهيدروجينى للصرف . إذا كان أكبر من ٣ يعاد تنفيذ الخطوات من ١-٣ (رقم هيدروجينى ٣ أو أقل يؤكد أن الحديد المذاب يظل فى المحلول) .
- ♦ يتم حقن محلول الكلور مع مادة المنظفات الصناعية (Surfactant) محلول الكلور يكون حوالى ١% (١٠٠٠٠ جزء فى المليون) .
- ♦ يتم تغليب المحلول بتجهيزة بثق (getting)
- ♦ يتم الضخ إلى للصرف حجم محلول يساوى حجم فتحة البئر .
- ♦ عين تركيز الكلور فى حالة نقص التركيز بنسبة أقل من ١٠% من التركيز الأسمى تعاد الخطوات ٥-٧
- ♦ تعين الطاقة النوعية للبئر

البولى فوسفيت ومؤثرات السطح: (polyphosphatesAndsurfactants)

الطفلة والطمى مواد تلتصق بشده بعضها مع بعض فى حالة . لزجة والذى يجعل إزالتها من الرمل والزلط فى حالة وجودهما فى تربة الخزان الجوفى عملية صعبة . الآبار التى يحدث لها إسداد بحبيبات الطفل والطمى يمكن إستعداده كفاعتها بالمعالجة بمعامل إحتضان (chelating Agent) ولتى هى مركبات البولى فوسفيت . وهذه المركبات لها القدرة على فصل حبيبات الطفلة . كما يمكن جعلها تتناثر مع بعضها باستخدام مواد (Dispersing agents) بما يجعلها تتحرك مع ضخ المياه من البئر أثناء عملية للتنمية . هذا بالإضافة فإن أيونات الكالسيوم والمغنسيوم والحديد تلتصق بالأجسام الصغيرة التى تظل فى للحالة المذابة باستخدام البولى فوسفيت . استخدمت أملاح البولى فوسفيت البيضاء بنجاح فى معالجة الآبار عند انسدادها بالطمى . المستخدم عادة هو (sodum Hexametaphosphate) فى إصلاح الآبار وهو زجاجى .

يستخدم فى معالجة الآبار ٦,٥ كجم من البولى فوسفيت مع الخلط بـ ٣٠,٤ من الماء، للدق على سطح الأرض فى إثناء صغير ثم يتم التخفيف بكمية كبيرة من

الماء . ثم تتم للكلوره ١٢٥ ملجرام /لتر . يتم وضع المحلول فى البئر باستخدام ماسورة تغذية . وفى حالة وضع البولى فوسفيت مباشرة فى البئر فإنه يكون ماده جيلاتينية لا تذوب بسرعة وقد تسبب إسدال . من المهم وضع الكلور مع حمض البولى فوسفيت وذلك لقتل البكتريا التى تتغذى على البولى فوسفيت ، حيث يضاف ٠,٧ كيلوجرام من هيبوكلوريت الكالسيوم لكل ٣,٨ م مكعب من الماء فى البئر . يعتبر تقليب المياه فى البئر عامل هام فى إنتاج عملية المعالجة . كما يوصى بإضافة منظف صناعى يتركز ٢٥٠ ملجرام /لتر (بدون رغوة) لزيادة تشتته للبولى فوسفيت .

تلف البئر بسبب التآكل.

نتيجة التآكل تحدث للتلفيات الآتية

- ♦ إتساع فتحات المصفاة أو حدوث تقوب فى القيسون بما ينتج عن ذلك من ضخ للرمال
- ♦ ضعف قوة المصفاة أو القيسون وتلفهما
- ♦ حدوث ترسيبات من نواتج التآكل حيث تنخفض إنتاجية البئر .
- تلوث المياه عند حدوث تآكل للقيسون ولذلك يوصى باستخدام معدن المصفاة أو للقيسون من معادن مقاومة للتآكل مثل الصلب المقاوم ٣٠٤ وقد تستخدم مادة خاملة مثل البى فى سى على أن تحقق القوة اللازمة لإنشاءات البئر .

الفصل الثانى عشر

الإستخدامات البديلة
للآبار ومصافى الآبار

إن الهدف الرئيسي من هذا المرجع هو الحصول على مياه للشرب من الآبار العمودية . تستخدم تصميمات أخرى للآبار وإنشائها للحصول على المياه الجوفية فمثلا سرب الترشيح (Infiltration Galleries) الذى يتكون من مصفاة أفقية أو أكثر من مصفاة يمكن أن تقوم مقام الآبار الراسبة فى بعض التكوينات الجيولوجية حيث سمك الطبقة المشبعة صغير جدا . وفى حالات أخرى يحدث تسرب لمياه البحر فى المناطق الساحلية حيث يمكن التحكم فى ذلك بوضع آبار الحقن . قد تحدث مشاكل بيئية فى بعض الحالات كما يحدث عند سحب المياه الجوفية لأغراض الإنشاء حيث يؤثر ذلك على إنتاجية الآبار القريبة الضحلة . وسينم تناول بعض من هذه الاستخدامات البديلة للآبار ومصافي الآبار

سحب المياه الجوفية : Dewatering

تصمم آبار سحب المياه الجوفية أساسا لخفض منسوب المياه الجوفية إلى عمق منسوب معين والمحافظة على هذا العمق حتى تمام تنفيذ الإنشاءات تحت الأرض . وبعد أن كانت عملية سحب المياه المؤقتة أو طويلة الأجل تتم بهدف أعمال الإنشاءات للمباني والطرق والأنفاق ، الإنشاءات تحت الأرض عموما . حاليا تزال كميات كبيرة من المياه الجوفية الملوثة محليا وتعالج كجزء من برنامج إستعادة نوعية المياه الجوفية . والأغراض الرئيسية لأعمال سحب المياه الجوفية تشمل :

- ♦ حجز للتسرب التى يمكن أن يدخل موقع الجفر وإعاقة عمليات الإنشاء
- ♦ تحسين ثبات الميول وبذلك إيقاف للوحل وتهدم الميول
- ♦ منع قاع الحفر من الانتفاخ والارتفاع بسبب زيادة الضغط الهيدروليكى .
- ♦ تحسين خاصية التماسك للتربة فى قاع الحفر لأعمال الرصف والإنشاءات .

تعيين خصائص الخزان الجوفى :

يجب تعيين معالم للتخزين ومعامل الانتقال للخزان الجوفى وذلك لأن حجم المياه الجوفية فى المساحة اللازم سحب المياه منها والمعدل الذى يمكن سحب المياه به

هما العاملين الهامين لتصميم نظام البئر . وهذين العاملين يمكن حسابهم على أساس إختبار الضخ بمعدل ثابت .

فى حالة عدم إمكان تنفيذ معاملات التخزين فإنه يمكن تقديرها للخرانات الجوفية الغير محصورة بقيمة تتراوح ما بين ٠.١ إلى ٠.٣ وللخرانات المحصورة ما بين ١٠^{-٥} إلى ١٠^{-٢} وفى حالة الخزان الجوفى الغير محصور والتربة ذات حبيبات خشنة فإن معامل التخزين المستخدم عادة هو ٠.٢ فى حالة وجود مواد طفليه أو طمى قد تكون كمية المياه فى المسام كبيرة ولكن حجم المياه الحقيقى المسحوب يكون صغيرا مقارنة بالتربة ذات الحبيبات الكبيرة . وفى حالة الخزانات الجوفية المحصورة يفترض معامل التخزين ١٠^{-٥} للترربة من الحجر الرملى أو للحجر الطبقى رقيقة الحبيبات وتكون ١٠^{-٢} للحجر الرملى النظيف حيث الحبيبات الخشنة (الكبيرة) .

المسحب المؤثر للتربة ذات الحبيبات الرقيقة يتطلب وقت أكبر وفواصل قريبة بين الآبار بسبب إنخفاض الانتقال . عمليا يتم سحب المياه فقط لزيادة الكثافة بما يجعل الترربة ثابتة. يلزم وجود بعض مياه الخاصية الشعرية فى المسام لربط أو للامساك لحبيبات التربة بعضها البعض .

معادلات سحب المياه الجوفية Dewatering Equations

عمليا فإن حجم المياه المطلوب إزالتها قبل الإنشاء هو المخزون فى قمع الانخفاض المحدد ولهذا فإنه يتم ضخ الآبار باستمرار لسحب التغذية إلى قمع الانخفاض وفى معظم الحالات يكون معدل الضخ أعلى من اللازم لاستمرار الانخفاض . حجم المياه المطلوب ضخها من خزان غير محصور للحصول على إنخفاض معين مقيم طبقا للمعادلة .

$$Q = \frac{K (H^2 - h^2)}{0.733 \log R/r}$$

حيث :

Q = السحب متر مكعب فى اليوم .

K = التوصيل الهيدروليكي متر في اليوم .

H = السمك المشبع للخران الجوفي قبل الضخ بالمتر .

h = عمق المياه في البئر عند الضخ بالمتر .

R = نصف قطر قمع الانخفاض بالمتر .

r = نصف قطر البئر بالمتر .

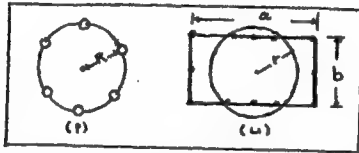
الانخفاض (S) عند أى نقطة خلال القمع يعين بالمعادلة

$$S = \frac{0.366 Q \log R/r}{Kb}$$

المعادلات السابقة قابلة للتطبيق في حالات حيث سحب المياه يتم في مساحة

مقربة في شكل مربع أو دائرة وحيث يفضل عدد من الآبار الضحلة عن بئر واحد

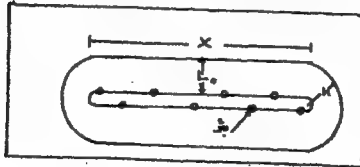
عميق .



شكل (١٢-١) للدائرة في الشكل (أ) تتكون من عدة آبار ضحلة ملتجة لانخفاض

يساوى ما تحيط به بئر عميق ولحد الشكل (ب) حيث سحب المياه من المساحة

المستطيلة ممكن أن يتم بواسطة عدة آبار في محيط دائرة أو في محيط مستطيل



على (١٢-٢٢) تنظمي آبار السحب للمياه الجوفية

لستخدم المعادلة $\sqrt{\frac{ab}{\pi}} = r$ يعطى نتائج جيدة عند وجود الآبار قريبة من بعضها وعندها يكون القطر المؤثر (R) أكبر كثيراً من (r) وكذلك عندما تكون النسبة أقل من ١,٥ شكل (١٢-١) .

معظم أعمال سحب المياه تتم على خط أو خندق شكل (١٢-٢) . ولذلك فإن التدفق يكون من مصدر خطي أو خندق . في حالة الخزان الجوفي الغير محصور فإن الصرف من أحد أجناب الخندق لوحدة الطول طبقاً للمعادلة :

$$\frac{Q}{2} = \frac{K(H^2 - h^2)}{2L_o}$$

حيث :

X = طول الخندق بالمتر

L_o = المسافة بين النقطة ذات أكبر إنخفاض إلى النقطة حيث لا يوجد إنخفاض بالمتر .

في حالة الخندق حيث الطول لانهائي فإن حجم المياه الازم ضخه يمكن حسابه بالمعادلة :

$$Q = \frac{K(H^2 - h^2)}{0.733 \log R/r} + 2 \frac{X K(H^2 - h^2)}{2L_o}$$

عملياً فإن سحب المياه يتقدم على امتداد الخندق مع تجهيز الحفر . ولذلك فإن كل بئر يجب أن يكون قادراً على ضخ أكبر حجم ممكن عندما يكون البئر عند أى من نهاية للمساحة الجارى سحب المياه منها .

العوامل التي تراعى عند إختيار نظام سحب المياه إما باستخدام الآبار العميقة أو باستخدام الحراف الآبار الصغيرة (نظام الحراف) / تشمل الظروف الهيدرولوجية ، ظروف الموقع ، زمن الضخ في الموقع وحجم المياه المطلوب سحبها بالإضافة إلى إمكانية إقامة معدات للضخ في موقع الإنشاء ومدى توفر معدات الحفر وسحب المياه . كما يستعان بالمعلومات عن هيدروليكا البئر ونظريات تدفق المياه الجوفية . هذه

المعلومات تمكن من إستخدام أقل عدد من الآبار مع أقل معدل ضخ وعمق للآبار .

سحب المياه بنقط الآبار [نظام الحراب]

Well Point Dewatering System

نظام مجموعات نقط الآبار ذات الآبار القريبة من بعضها تكون عادة متصلة بماسورة رئيسية (Header pipe) ، ويكون الضخ مع الرفع حفر خنادق مواسير الصرف الصحى وخطوط المياه الرئيسية وأعمال الحفر للأساسات تتم فى تربة مشبعة أسفل منسوب خط المياه الإستاتيكي . فى معظم الحالات يكون إستخدام الحراب فى سحب المياه أقل تكلفة من إحاطة الحفر بحائط مستمر من الدعام الحديدية (Sheet Piling) ثم الضخ فى منطقة العمل . خفض منسوب المياه الجوفية يضخ بنظام الحراب قرب الحفر ليسمح العمل بالمعدات الثقيلة حتى فى المناطق المشبعة مسبقاً . السحب الجيد للمياه لا يعمل على دوران المياه الذى قد يحدث فى قاع الحفر . نظم الحراب تستخدم عادة بسبب سهولة إنشائها ويمكن تنفيذها فى ظروف الموقع المختلفة . وهى مناسبة خاصة فى الحالات التالية

. سحب المياه بالمرحلة الواحدة حيث منسوب للضخ فى حدود السحب والرفع

(منسوب خط المياه الإستاتيكي أقل من ٦.٥ متر)

. للتربة تكون ذات إنتقال منخفض (الرمال الناعمة والطفلة)

. للتربة الحاملة ضحلة وأسفلها طبقة صماء .

أثناء التشغيل لنظام الحراب ، تقوم طلمبة مركزية برفع المياه من كل بئر وذلك بإنتاج خفض جزئى فى الضغط (تفريغ) فى الماسورة الرئيسية وماسورة السحب . الإنخفاض الجزئى فى الضغط أو السحب والرفع الذى يمكن للطلمبة المحافظة عليه يحدد الإنخفاض الذى يمكن الحصول عليه فى التربة الحاملة للمياه . أقصى إنخفاض هو الفرق بين خط المياه الإستاتيكي ومنسوب السحب (Suction Head) شكل (٣-١٢) . الطلمبة ذات خاصية السحب الجيدة يتم إستخدامها لتحقيق أقصى إنخفاض .

من الناحية العملية أقصى سحب ورفع يمكن تحقيقه بإستخدام الحراب هو ٥ متر

(وقد يصل إلى ٦-٦,٥ متر) ولكن التصميم يبني على ٥ متر فقط . للتصرف من التربة الناعمة يكون منخفض دائماً ولكن إزالة ولو حجم صغير من المياه سيعمل على تثبيت للتربة في حالات كثيرة .

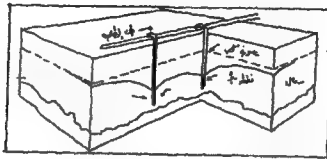
قطر الحربة المستخدم في سحب المياه يكون عادة من ٠,٥ إلى ٢ بوصة والتصرف يكون من ٥٤,٥ إلى ١٣٦ متر مكعب في اليوم ويكون الفاصل من ١ إلى ٣,٥ متر . ونظراً لتغير الظروف من مكان إلى آخر فإنه يلزم عمل التجارب للحصول على أقصى إنخفاض ، ولذلك لتحديد الفاصل بين الحراب حيث أن قطرها عادة يكون ثابت بالنسبة لأي مقاول وكذلك طول وقطر المصفاة والماسورة .

عمل قمع الانخفاض المناسب :

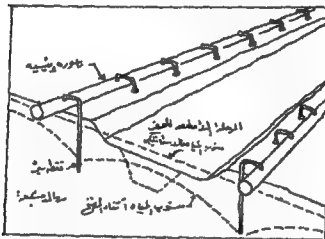
خفض منسوب المياه الجوفية في موقع الإنشاء يتطلب عمل تداخل في أقسام الإنخفاض بالضخ بنظام نقط الأبار شكل (٣-١٢) . لذلك تكون الأبار قريبة من بعضها . يظل منسوب المياه كما هو موضح في الشكل طالما كان الضخ مستمراً . المياه تتسرب بالجاذبية من التربة فوق خط المياه الذي إنخفاض ، ويمكن عمل الحفر في أي مكان خلال قمع الإنخفاض المركب (المتدخل) . السحب الكامل للمياه من قمع الإنخفاض المركب يحدث بعد الضخ ، ولأقصى إنخفاض في التربة المشبعة حول الحراب يتحقق بعد عدة ساعات ولذلك يلزم وقت إضافي للتسرب للرأسي للمياه من التربة المشبعة . عملياً فإن الزمن الآزم لإستمرار الضخ بنظام الحراب يكون يوم أو أكثر قبل بدء الحفر .

يمكن التغلب كذلك على حدود المقطع الرأسي باستخدام نظامين منفصلين أو أكثر في مراحل متتالية . نظام المرحلة الأولى ينشأ كما في الشكل (٤-١٢) وعند ضخها فإن منسوب خط المياه ينخفض بما يسمح بالحفر لعدة أقدام أسفل خط المياه الأصلي . عندئذ يمكن إنشاء المرحلة الثانية عند المستوى المنخفض كما في الشكل (٥-١٢) . ماسورة السحب الرئيسية للحربة وطمبات المرحلة الثانية عندئذ تخفض منسوب المياه بما يمكن من تكملة الحفر . يمكن إضافة مراحل تالية عند الحاجة إلى

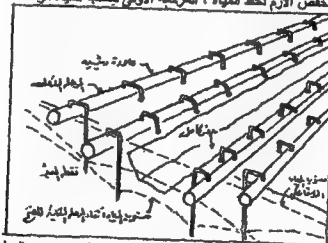
سحب للمياه إلى عمق لكبر .



شكل (٣-١٢) تداخل متبادل لبلورين أو أكثر يخفض منسوب المياه في
حبيبات سحب المياه .



شكل (٤-١٧) مرحلة - و أكثر لمحبب المياه بنقط الأبار طبقا لموسوب
الخفض الارم لخط للمياه ، المرحلة الأولى لمحبب المياه موضحة .



شكل (١٧/٥) يمكن بدء المرحلة الثانية لمحبب المياه بعد سحب المياه للمرحلة الأولى وحفرها . عندئذ يتم خفض خط المياه إلى المنسوب المطلوب عند فتح المرحلة الثانية

ضخ المرحلة الثانية قد يسحب للمياه من التربة حول الحراب للمرحلة الأولى فى حالة حدوث ذلك يوقف تشغيل المرحلة الأولى . عندئذ يمكن إستخدام حراب المرحلة الأولى للمرحلة الثالثة أو الرابعة حيث يتم إقامتها بعد إزالة المرحلة السفلى . وفى مراحل السحب العادية يكون سحب المياه من كل مرحلة بعمق ٣ إلى ٣,٧ متر . عند حفر الخندق فإنه يجب للتأكد أن الحفر الجارى تنفيذه يكون جافاً وأن المساحات المستقبلية للحفر يكون تم سحب للمياه منها وذلك عند وصول معدات الحفر إليها . طول الحراب قد يكون ٤-٨ أضعاف للتقدم اليومي . يوجد ثلاث نماذج لسحب المياه بإستخدام الحراب كما فى الشكل (٦-١٢) لمختلف للحالات أسفل سطح التربة . وجود طبقة ناعمة من الطفلة أو الطمي على أعماق مختلفة فى التربة المشبعة يعقد نظام الحراب وذلك لأن هذه الطبقات تمنع للتسرب الرأسى للتربة أعلاها حتى ولو كانت هذه الطبقات رقيقة وبمسك حوالى واحد بوصة فإنها ستكون غير منفذة للمياه تقريباً .

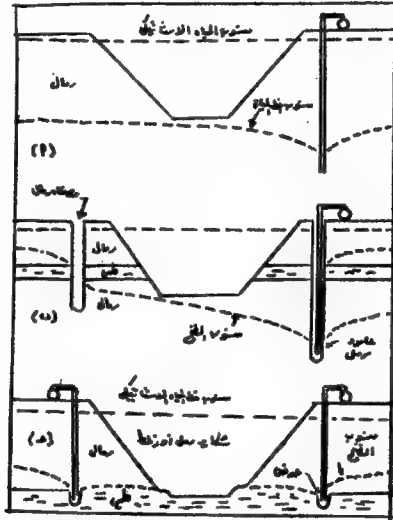
السحب المتتالى للمياه من للتربة المتماصة يتطلب سحب المياه من كل طبقة رملية على حده . يلزم إستخدام نظامين للحراب عندما تكون طبقتين من الرمال المشبعة بينهما فاصل من تربة من الطمي . فى هذه الحالة يوضع مجموعة من الحراب أعلا طبقة الطمي مختترقة طبقة الرمال المشبعة العليا والمجموعة الثانية يتم إختراقها إلى أسفل من العمق المطلوب مختترقة طبقة الطمي الغير نفاذة وطبقة الرمال المشبعة أسفلها حتى للعمق المحدود .

عمق سحب المياه ووضع الحراب : Depth of Setting

العمق الذى توضع عنده الحراب لسحب المياه يتحدد بثلاث عوامل : (١) أقصى عمق مقترح للحفر (٢) وجود طفل أو طمي عند هذا العمق (٣) وجود مواد غير مسامية وبمسكها . يتم وضع الحراب إلى عمق أبعد بحوالى واحد متر عن عمق الحفر وذلك فى حالة إمتداد للتربة الحاملة للمياه أسفل عمق الحفر . فى حالة إستخدام خط واحد فقط من الحراب لحفر خندق يتم وضع نهايات الحراب أسفل متنسوب الحفر بعمق

١,٢ متر أو أكثر إذا سمحت الظروف بذلك .

فى كثير من مواقع الإنشاء تستخدم الآبار العميقة ذات الإنتاجية العالية بدلاً من الحراب .

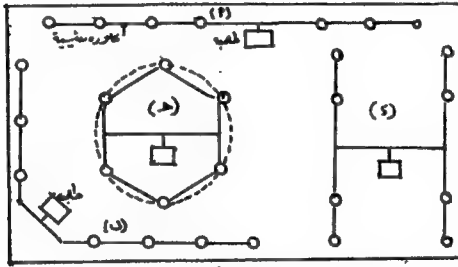


شكل (١٢-٦) سحب المياه من الخندق الحراب وإرتشاح الرمال

- (١-) يمكن سحب المياه من الرمال المتجمعة بالحراب على جانب واحد
- (٢-) وجود طبقة طمي فوق منسوب الضخ قد يتطلب مصفاة لإرتشاح الرمال على الجانب الآخر لتتلقى المياه الطوية .
- (ج) الطفلة عند أسفل منسوب الضخ وضع الحراب جزئياً فى الطمي على جانبي الخندق .

إستخدام الحراب فى الإمداد بالمياه :

بغرض الإمداد بالمياه فإن وضع نظام الآبار المتعددة يمكن أن يكون فى أحد الأشكال الموضحة فى الشكل (٧-١٢). وضع الآبار على محيط للدائرة يوفر أقصى طاقة هيدروليكية بينما أقلها عند الوضع على خط مستقيم . كما يفضل وجود فاصل بين الآبار حيث يحدث تطابق بسيط فى دائرة للتأثير أو لا يحدث تطابق . الفاصل بين الآبار لمسافة من ٧ متر إلى ١٥ متر كافى جداً . يمكن تقريب الفواصل فى حالات التربة ذات الرمال الناعمة أو الخزانات الجوفية ذات السمك الصغير أو حيث لا يزيد الانخفاض عن ١,٥ متر . تزداد الفواصل عن ١٥ متر فى حالة للعمق وسمك الخزان الجوفى يسمح بإنشاء مصافى الآبار بطول ٣ متر أو أكثر .



شكل (٧-١٢) يمكن إستخدام أشكال مختلفة لنظام نطق الآبار للتصلى فى الإمداد بالمياه . الوضع المركزى للطلبة يساوى بين المصحب والرفع .

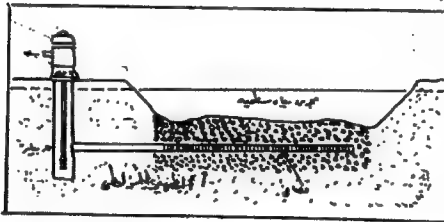
مصافى التجميع الإفقية : Infiltration Galleries :

فى بعض التكوينات الجيولوجية يكون سمك الخزان الجوفى غير كافى لتوفير الحجم المطلوب من للمياه للآبار الرأسية ، حتى ولو كان الخزان الجوفى متصل هيدروليكياً بمصدر تغذية سطحى قريب . كمثال عند وجود طبقة صغيرة من المياه

العذبة فوق المياه المالحة . الآبار العميقة في هذه الحالة سوف تسبب ارتفاع المياه المالحة فسي شكل مخروط (Upconing) بما يفسد نوعية المياه . في هذه الظروف الجيولوجية فإن مصافي التجميع التي تتكون من واحدة أو أكثر من المصافي الأفقية يمكن وضعها في التربة ذات النفاذية إما قريباً من مصدر المياه أو أسفله . في هذه الحالة يمكن ضخ كمية كبيرة من المياه حيث أن التوصيل الهيدروليكي للمادة الطبيعية والتحتية حول المصفاة مرتفعة بما يجعل التغذية تساوى معدل الضخ . نظراً لأن المصفاة موضوعة في حفر مكشوف فإن الحدود العملية للعمق محدود فهو حوالي ٧,٦ متر . المياه الدخلة للمصفاة تجمع عادة في بيارة (Sump) تنشأ أسفل نهاية المصافي . البيارة الكبيرة يمكن أن تعمل كغرفة تخزين في حالة انخفاض معدل التصريف . توضح ظلمية المأخذ في البيارة شكل (٨-١٢) . في حالة المعدل العالي للتصرف فإن توصيل ظلمية الطرد المركزى بالمصفاة يلغى الحاجة إلى البيارة . سوف يتم تناول التصميمات التي تعتمد على التناقل المستقيم من مصدر سطحي قريب .. التصميمات الإنشاء هي نفسها التي تتم لمصفاة تجميع في منطقة رواسب ذات نفاذية عالية والتي يستمر تغذيتها من مياه الأمطار .

قرار إنشاء مصافي التجميع قريباً من أو أسفل المياه السطحية يعتمد على عدة

عوامل :



شكل (٨-١٢) مقطع لظلمية في بيارة مصافي تجميع المياه .

مطالب الإنتاج : مصافي لتجميع أسفل مصدر المياه تنتج ضعف تلك الموجودة بجوار المصدر . وبعد إستقرار الترسيبات في المصدر (بحيرة أو نهر) فإن قيمة الإستتال تنخفض بسبب وجود وتسرب حبيبات الرمال الدقيقة في التحشية الزلزالية المحيطة بالمصفاة .

نوعية المياه : مصافي المياه القريبة من مصدر المياه عادة تكون مياهها أقل عكارة وأقل محتوى من البكتريا عن تلك الموضوعة أسفل المصدر وذلك بسبب زيادة الترشيح للمياه .

صعوبة الإنشاء : من الصعب إنشاء مصافي لتجميع أسفل المصدر المائي وكذلك يصعب صيانتها بسبب التراكم المستمر للمواد العالقة التي تحملها المياه .

ثبات المجرى المائي أو منسوب البحيرة : المجرى المائي قد يغير إتجاهه لمسافات كبيرة في زمن قصير وبذا إما يحمل المصافي المحملة على الركام أو تغطيتها كلية بطبقات قليلة التناقية . فمثلاً نرى أن الضغط ينخفض بشكل كبير في المجرى المائية التي تعمل بالمناوبات وذلك في فصل الجفاف من العام ولكن التدفق خلال الطبقات السفلى من الرمال والزلاط عادة يكون مستمر .

مبادئ التصميم :

معظم قواعد التصميم للمصافي الأفقية لتجميع المياه تشمل توجيه المصفاة طبقاً لإتجاه تدفق المياه السطحية أو المياه الجوفية . في حالة المصافي المدفونة أسفل المجرى المائي فإنها توجه عمودى على إتجاه تدفق المياه في المجرى المائي أما في حالة المصافي الموضوعة على جسر المصدر المائي فإنها توضع عمودية على إتجاه تدفق المياه الجوفية لخفض الفقد في الضغط أى أن المصفاة توضع موازية لإتجاه سريان المياه في المصدر المائي (للنهر) .

لقواعد التصميمية الهامة لمصافي لتجميع الأفقية تشمل :

- سرعة دخول المياه خلال فتحات المصافي لا تزيد عن ٣ سم / الثانية .
- السرعة المحورية داخل المصفاة تكون ٩٠ سم/الثانية أو أقل بما يخفض الفقد

في الضغط ليكون ٣٠ سم أو أقل .

تستخدم المعادلة التالية لتحديد السرعة :

$$V = V = \frac{1.6 \times 10^{-3} Q}{X r^2}$$

حيث :

V = السرعة متر في الثانية

Q = الإنتاج متر مكعب في اليوم

R = قطر المصفاة بالمتر

- يمين قطر فتحة المصفاة طبقاً لتوزيع حبيبات الظهير الزلطى حيث تكون نسبة الحجز ١٠٠% .

- تعين مساحة الترشيح لمادة التحشية الزلطية على أساس دخول المياه لطبقة التحشية الزلطية بمعدل ٣٠٠ متر مكعب في اليوم لكل متر مربع من المساحة السطحية ، عادة التوصيل الهيدروليكي للظهير الزلطى تكون أكبر بكثير .

- مادة الظهير الزلطى (Filter Back) تشابه في تصميمها المستخدمة في الآبار الرأسية مع ضرب ٦-٧ في ٧٠% الحجم المحتجز .

تصميم مصافي التجميع الأفقية أسفل المصدر المائى

(Bed mounted Infiltration Galleries)

الشكل (٩-١٢) يوضح حالات وضع المصافى أسفل المصدر المائى وتشمل

القواعد التصميمية لهذه الحالة الآتى :

- عمق المصفاة يكون من ٠,٩ إلى ١,٥ متر أسفل قاع المجرى . كما يوجد ٣٠ سم ظهير زلطى أسفل المصفاة .

- للفواصل بين المصافى تكون فى حدود ٣ متر تقريباً . الشكل (١٠-١١) يوضح الأبعاد المقترحة لوضع المصافى .

- يتم اختيار المجرى المائى لتكون سرعة المياه لا تقل عن ٣٠ سم في الثانية لخفض

لترسيبات على سطح المصافي .

- فى حالة حمل كبير غلى للقاع بسبب الثقل المائى ، يتم توجيه مصفاة واحدة ناحية الشاطئ وليس فى المجرى الرئيسى ما أمكن .

- توضع المصافي فى المساحات المستقيمة للمجرى المائى وليس قرب الإحناءات .
المعادلة التالية تستخدم لتعيين طول المصفاة اللازمة فى المجرى أو بحيرة

$$L = \frac{0.366 Q \log \left(\frac{1.1 d}{r} \right)}{0.25 K H}$$

حيث :

L = طول المصفاة بالمتر

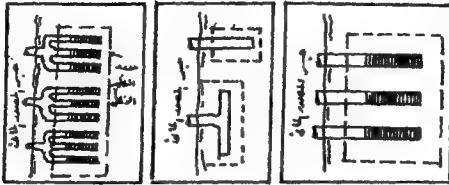
K = للتوصيل الهيدروليكى للظهير الزلطى متر فى اليوم

H = المسافة بين سطح المجرى المائى ومركز المصفاة بالمتر .

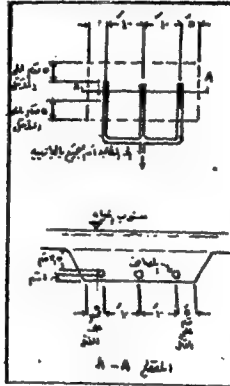
يمكن استخدام هذه المعادلة لعدة مصافي بفواصل ٣ متر .

من الخبرات السابقة للذين طبقوا هذا النظام فى تجميع المياه تبين أن التدفق الحقيقى من المجارى المائية والبحيرات يتراوح ما بين ٠,٥ إلى ٣ متر مكعب فى اليوم لكل متر مربع لكل متر فقد فى الضغط . عموماً يكون معدل التجميع عالى عندما يكون ميل المجرى المائى حاد وقاع للمجرى من تربة خشنة . معدل للتجميع من قاع البحيرة يكون منخفض مع الوقت مقارنة بالمجرى المائى إلا فى حالة وجود أمواج شديدة مع عدم حدوث ترسيبات من مواد ناعمة . المصافي والظهير الزلطى قد تصبح غير منفذة للمياه جزئياً مع مرور الوقت . ولهذا ولتوفير التدفق المستمر فإن مساحة المسام فى المصفاة يجب أن تكون ضعف المساحة المطلوبة أى أن طول المصفاة يتضاعف وبذلك تتضاعف مساحة دخول المياه .

قد يكون للغسيل العكسى (Back Washing) لازم فى بعض نظم مصافي التجميع ويتم للغسيل العكسى إما بالجانبيهة أو بنظام المولسير والمحابس حيث يستمر الضخ من عدة مصافي بينما يجرى للغسيل فى الأخرى بالهواء .



شكل (٩-١٢) أوضاع المصافي. في حالة التجميع أسفلاً، فضاء المصدر المائي



شكل (١٠-١٢) مواصفات القواصِل والصق لمصافي التجميع

وضع مصافي للجميع بمحارة شاطئ المصدر المائي :

في حالة وضع المصافي قريباً من المجرى المائي شكل (١١-١٢) . توضع مصفاة واحدة موازية للجسر أو الشاطئ . عمق وضع المصفاة لا يقل عن ١,٢ متر أسفل منسوب المياه الإستاتيكي ولا يزيد عن ٧,٦ متر . كل المياه الداخلة إلى مصفاة

التجميع تأتي من جانب واحد للمصفاة ، ولذلك فإن معادلة تدفق المياه إلى المصفاة هي:

$$Q = \frac{KL(D^2 - d^2)}{2r_0}$$

حيث :

K = التوصيل النوعي للرواسب بالمتر في اليوم

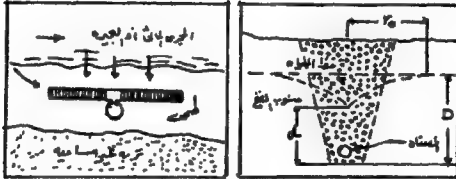
D = عمق الحفرة أسفل منسوب المياه الإستاتيكي بالمتر

d = المياه فوق قاع الحفر أثناء التشغيل بالمتر

r_0 = المسافة إلى النقطة حيث لا إنخفاض بالمتر

المعادلة لتحديد طول المصفاة المطلوبة (L)

$$L = \frac{2r_0Q}{K(D^2 - d^2)}$$



شكل (١١-١٢) وضع المصفاة وعناصر معادلة التصريف

المسافة إلى حيث لا يوجد إنخفاض تتم بإختبارات الضخ باستخدام مجموعة من

آبار الملاحظة موضوعة في إتجاه المصدر المائي وعمودى عليه .

التصميم لمصافي التجميع للموضوعة في تربة مسامية ليست مرتبطة بمصدر

مائي سطحي . يكون حجم التدفق الذى يدخل المصفاة الموضوعة عمودياً على إتجاه

التدفق يمكن حسابه بالمعادلة

$$Q = \frac{KA(h_1 - h_2)}{L}$$

حيث:

A = مقطع الخندق بالمتر المربع

$$= \frac{h_1 - h_2}{L} \text{ للترج الهيدروليكي (Hydraulic Gradient)}$$

يمكن حصر ٧٠ - ٧٥ من التنفق .

في حالة وجود مياه مالحة يكون من المهم حساب أقصى إنخفاض مناسب بما لا يسمح بدخول المياه المالحة إلى المصافي شكل (١٢-١٢). يمكن تعيين الإنخفاض من

المعادلة

$$h_s = \frac{P_s h_f}{P_s P_f}$$

حيث :

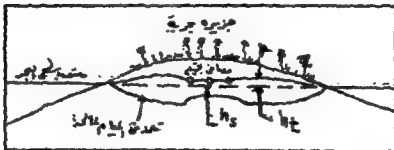
h_s = المسافة أسفل متوسط منسوب سطح البحر عند المياه العذبة وتلاقيها مع المياه المالحة .

h_f = المسافة من خط المياه الإستاتيكي إلى متوسط منسوب سطح البحر .

P_s = كثافة المياه المالحة (١,٠٢٥ جرام / سم^٣)

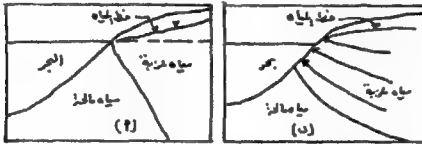
P_f = كثافة المياه العذبة (١ جرام / سم^٣)

$$h_s \times 60 = h_f \times \frac{1}{1 - 1,025} = h_f \text{ ستكون } h_s, h_f \text{ العلاقة بين}$$



شكل (١٢-١٢) الجزيرة حيث تلاقي بين المياه العذبة والمالحة

بالنسبة للجزر الصغيرة في المناطق الإستوائية فهذا يعنى أن العمق حتى لتلك المياه العذبة مع المالحة هو ٤٠ ضعف المسافة ما بين سطح منسوب المياه الإستاتيكي ومتوسط منسوب سطح البحر . إذا كانت هذه المسافة ١,٢ متر فإن منطقة التلاقي هي على مسافة ٤٨,٨ متر أسفل منسوب خط المياه الإستاتيكي . خفض هذه ١٠ سم أثناء الضخ يعمل على رفع التلاقي بوضوح . فمثلاً إذا كان الإنخفاض ٠,٩ متر ، h_1 هي ٠,٣ متر وسوف يكون التلاقي عند فقط ٤٠ قدم (١٠,١٦ متر) أسفل خط المياه . رغم أن المعادلة تعطي عمق تقريبي لتلاقي المياه المالحة ، إلا أن عاملين آخرين قد يؤثران على المسافة الحقيقية . الإتصال بين العذبة والمالحة هو طبقة من الماء المخلوط والتي تغير الوضع الحقيقي للتلاقي . تدفق المياه الجوفية في إتجاه البحر يؤثر على مكان التلاقي ، كما في الشكل (١٢-١٣) . عندما يحدث التدفق كما هو عادة فإن التلاقي يكون أقل من المعادلة .

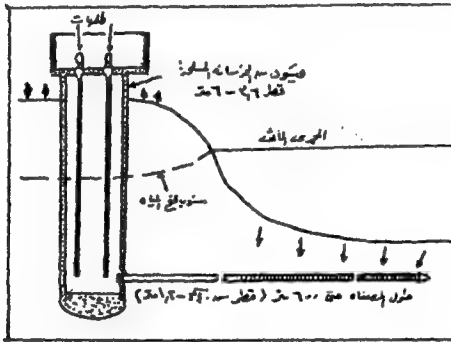


شكل (١٢-١٣) تلاقي المياه العذبة بالمالحة في (أ) يتساوى ضغط المياه العذبة مع المالحة وذلك لا يحدث تسرب للمياه الجوفية وتظل منطقة التلاقي كما هي في الحالة (ب) ضغط المياه الجوفية يزيد عن ضغط المياه المالحة عندئذ تنتقل المياه العذبة إلى البحر حيث منطقة التلاقي تتحرك في إتجاه البحر .

آبار التجميع Collection Well

نموذج آخر من مصافي التجميع عند إمتداد المصافي من قيسون عمودي ضخماً قريباً من مجرى النهر أو البحيرة شكل (١٤-١٢) . المصافي لا تتشأ في خنادق ، ولكنها تدفع أفتياً (Jackedout) في طباعات من القيسون . المصفاة المنقبة من الصلب بقطر ٤٠ سم حتى ١٢٢ سم يمكن دفعها لمسافة حتى ٦١٠ متر أسفل المصدر المائي، طبقة لعمق طبقة الطمي (الغرين) (Alluvial) .

استخدمت المصافي من البلاستيك بالطريقة التلسكوبية بنجاح . بعد تنمية مناطق المصافي فإن المياه المتجمعة بواسطة المصافي الأقنية تعمل على رفع منسوب المياه في القيسون حتى منسوب سطح المياه في المصدر المائي . وبذا يعمل القيسون كخزان ضخم . يوضع في القيسون في ظلمة أو أكثر أنواع آخر من نظم التجميع والذي يسمى التجميع الدائري ، حيث تستخدم مصافي متعددة ممتدة أفقياً خارج القيسون . هذا النوع مناسب لجمع مياه الفيضان ويمكن أن يوفر ملايين الأمتار المكعبة مع انخفاض ضعيف . تكاليف آبار التجميع أكثر مقارنة بالآبار الرئيسية .



شكل (١٢-١٤) بئر الجمع والمضخة المنقوعة خارج القيسون الضخم .

آبار الحقن Injection Wells

تستخدم آبار الحقن لأغراض مختلفة ، منها الإمداد بالمياه والتحكم في المياه الجوفية ، منجم السوائل ، التخلص من المخلفات ، الطاقة الجيوتيرمال (Geothermal energy) . لذلك فإن تصميم البئر وطريقة الإنشاء متغير طبقاً لاستخدامات البئر ، وفي جميع الحالات يلزم العناية بالتصميم والإنشاء نظراً لإحتمالات تلف بئر الحقن

عن البئر المعادي . للمشاكل المتعلقة بكيمياء المياه ودخول الهواء وتأثير الحرارة وضع الرمال تعتبر مشاكل مألوفة وخطيرة بالنسبة للآبار الحقن . حيث ضخ مياه الحقن المحملة بالرمل ١ ملجرام / لتر يمكن أن يسبب انسداد للبئر في زمن قصير جداً .

بإستثناء سرعة الدخول وطول المصفاة فإن القواعد التصميمية للآبار تنطبق على آبار الحقن نظراً لأن معظم آبار الحقن قد تعمل كآبار ضخ في بعض الأحيان .

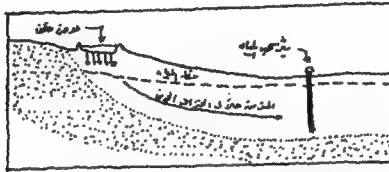
أكبر المشاكل في آبار الحقن هو انسداد المصفاة . متوسط سرعة دخول المياه في بئر الحقن يجب أن تكون ١,٥ سم في الثانية . ولهذا فإن المصافي يجب أن تتضاعف طالما أن بئر الضخ يسحب نفس الحجم من المياه . بئر الحقن يجب أن يضخ مياه خالية من الرمال (لتوفير أقصى حقن مع أقل ضغط) سيتم التعرف على بعض آبار الحقن وخصائص تصميمها .

آبار الحقن للإمداد بالمياه : Recharge Wells for Water Supply

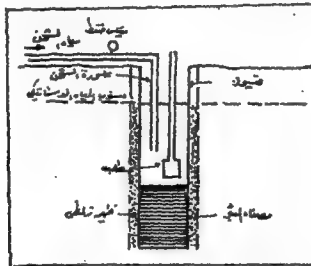
حقن المياه الجوفية بالطرق الصناعية يزيد من معدل وصول المياه من سطح الأرض إلى المياه الجوفية . يمكن حقن المياه بواسطة الآبار أو بنشرها على سطح الأرض لتتسرب . إستخدام آبار الحقن لتغذية المياه الجوفية أصبح أسلوب مقبول لتبطين أو للتغلب على لسحب الجائر من المياه الجوفية . في المناطق حيث عدم توفر المياه يمكن حجز المياه السطحية في أحواض في فصل الأمطار ثم حقنها في المياه الجوفية فيما بعد بأحد طرق إنتشار المياه الموضحة في الشكل (١٥-١٢) وقد تحقن المياه المعالجة في فترات الذروة لتوفير المياه لحين الحاجة إليها . في هذه العملية بين الشحن والسحب فإن وحدة المعالجة يمكن أن تعمل بمعدل ثابت خلال العام . مصادر المياه التي يمكن شحنها في المياه الجوفية موضحة في الجدول (١٢-١) .

تعتبر مواسير الحقن جزء هام في تصميم آبار الحقن الشكل (١٦-١٢) . ماسورة الحقن يجب أن تنتهي أسفل خط المياه الإستاتيكي في التقيسون كما يجب أن تصمم لتوفير الضغط على كل طول الماسورة . يتم تركيب محابس عدم رجوع لمنع الضغط السالب في ماسورة الحقن . عامل هام آخر وهو أن ماسورة الحقن يجب أن

يتوفر لها التفنق الكامل وبما يمنع احتمالات حجز الهواء .



كل (١٥١٥-١٢) للخران الجوفي الغير محصور يمكن شحنه من خلال خزان للتسريب



شكل (١٢-١٦) نموذج لبئر الحظن في تربة رملية متمسكة .

جدول (١٢-١) مقارنة لمصادر المياه المتوفرة للشحن الجوفي .

المصدر	مدى التفنق	للقرب لموقع الشحن	الحجم
التخزين السطحي	أحياناً	محيطي	ضخم
مياه الأمطار	أحياناً	محيطي	متوسط
مياه صرف	مستمر	قريب	صغير
التسرب العميق بالرى	مستمر	قريب	ضخم
مياه فيضان	أحياناً	محيطي	صغير

فى حالة للتربة ضعيفة التماسك فإن ضغط الحقن يجب للتحكم فيه حتى لا يحدث تكسير فى التربة . فى حالة وجود تكسير سيحدث فقد فى التوصيل الهيدروليكي

. أما فى حالة الحقن فى تربة صخرية متماسكة فإن تكسير للتربة يساعد على معدل الشحن للجوفى . ولهذا فإن ضغط الحقن يجب التحكم فيه بحرص ليكون الضغط الموجب لا يزيد عن $h \times 0.2$ حيث h هو العمق من سطح الأرض إلى قمة المصفاة (أو الحشو الزلطى) .

فى حالة حقن المياه فى بئر الشحن للجوفى يتكون قمع للشحن الذى يشبه فى شكله قمع الانخفاض الذى يحيط ببئر الضخ ولكن بالشكل المقلوب . شكل (١٧-١٢) المعادلة المستخدمة فى الشحن يمكن إستخدامها بإستخدام الفرضيات لبئر السحب . بالنسبة للخران الجوفى المحصور حيث الحقن فى بئر مفتوح بالكامل بالنسبة للخران الجوفى بمعدل Q . تطبق المعادلة التالية .

$$Q = \frac{Kb(h_w - H_o)}{0.366 \log(r_o / r_w)}$$

حيث :

Q = معدل الشحن متر مكعب فى اليوم .

K = التوصيل الهيدروليكي متر فى اليوم .

b = سمك الخزان الجوفى بالمتر

h = الضغط فوق قاع للخران الجوفى بالمتر عند الحقن

H_o = الضغط فوق قاع الخزان الجوفى بالمتر عند عدم حدوث ضخ .

r_o = لقطر المؤثر بالمتر

r_w = نصف قطر بئر الحقن بالمتر

بالنسبة لبئر الشحن الذى يخترق خزان جوفى غير محصور تستخدم المعادلة

التالية

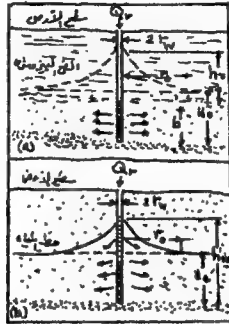
$$Q = \frac{K(hw^2 - Ho^2)}{0.733 \text{ Log}(r_o / r_w)}$$

بمقارنة معادلة الضخ بمعادلة الشحن للكبار فإنه يتوقع أن طاقة الشحن ستساوى

طاقة الضخ للبئر إذا كان قمع الشحن بنفس أبعاد قمع الانخفاض ولكن من الناحية

العملية نادراً ما يتساوى كليهما ونظرياً فإن بئر الشحن يفوق بئر الضخ ولكن المشاكل المتعلقة بنوعية المياه والمكارة وإرتفاع درجة حرارة الماء تقلل معدل الشحن خلال فترة زمنية قليلة . فمثلاً في أى بئر ضخ فإن الرمال الرفيعة ترال من التربة بالضخ باستمرار بينما لا ترال هذه الرمال الرفيعة أثناء الشحن ولكنها تتجمع في التربة أو الظهير الزلطي خارج المصفاة . ومع الوقت يحدث إسداد للتربة بما يخفض من طاقة الشحن . لهذا السبب ينصح بمضاعفة طول المصفاة في حالة الشحن عنه في حالة الضخ . يفرض أن للخران الجوفي سميكة ولخفض الصيانة فإن مناطق الرمل الجاف أو السراط الجاف فوق للخران الجوفي يمكن أن يكون بها جزء من المصفاة في حالة استخدام البئر في الحَقن الجوفي فقط . كما يحدث إسداد لمسام التربة المحيطة بالمصفاة ليس فقط بالرمل والترسيبات ولكن كذلك بفقااعات الهواء المحتجزة في بئر الشحن بما يخفض من التوصيل الهيدروليكي للتربة المحيطة كما يحدث الإسداد بالترسيبات في حالة شحن المياه المحتوية على تركيزات عالية من الأملاح المعدنية . كما يحدث الإسداد بواسطة البكتيريا وخاصة في حالة شحن مياه دافئة في مياه للخران الجوفي الباردة بما يساعد على نمو البكتيريا . يلزم الحذر وذلك بخلو المياه من البكتيريا قبل حقنها في التربة .

في حالة استخدام بئر الشحن كبئر إنتاج بعد فترة طويلة من الشحن . من المهم ضخ البئر إلى الصرف لمدة قصيرة لإزالة المكارة والترسيبات والمواد الأخرى المسببة للإسداد . بالإضافة إلى بعض التنمية للإستخدام كبئر إنتاج لإستعادة البئر إلى طاقته الأصلية .



شكل (١٧-١٢) للتفليق الأفقي من آبار الشحن التي تفرق (a) خزان محصور (b) وخزان جوفي غير محصور .

الآثار البيئية للشحن الجوفي Enviromental Effects of Recharge

- الآثار الرئيسية للشحن الصناعي للخزان الجوفي يمكن تقسيمه إلى قسمين :
- مواجهة إمدادات المياه الغير متوفرة بتوفير مياه باستخدام الخزان الجوفي للشحن والسحب .
- لمواجهة السحب للجائر من الخزان الجوفي فإن الشحن الجوفي يمكن أن يفيد في الآتي :
- خفض تكاليف التشغيل لخفض منسوب الرفع المطلوبة .
- خفض حالات نقص المياه .
- توفير فرص للتوسع الأفقي بزيادة إمدادات المياه .
- منع وصول مياه البحر إلى الخزان الجوفي الساحلي .
- منع تمرب للمياه العميقة شديدة الملوحة إلى الخزان الجوفي .
- منع إنخفاض منسوب المياه بالمحافظة على منسوب للمياه الجوفية لتأكيد نجاح

مشروع الشحن الجوفى فإن الظروف الحقلية يجب أن توفر التخزين المناسب ، حركة المياه ، وإستخدام المياه التى تم شحنها . حيث يلزم توفير الآتى لعمل الشحن الجوفى

١- من الناحية الجيولوجية يلزم أن يكون الخزان الجوفى مناسب بالنسبة لمبة التخزين والإنتقال

٢- التسرب : معدل للشحن يلزم إستمراره بمستويات مناسبة .

٣- المياه : يلزم توفر المياه اللازمة للشحن .

٤- الصرف : عند قرب خط المياه من سطح الأرض يلزم تجنب الشحن .

٥- نوعية المياه : يلزم أن تتناسب نوعية مياه الشحن مع المياه فى الخزان الجوفى وتكون درجة حرارتها مناسبة .

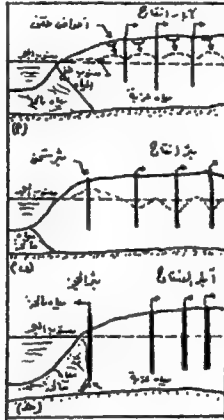
٦- كفاءة الإستعمادة : يلزم ألا يكون الرفع كبير وأن طاقة الضخ تكون إقتصادية ونوعية المياه المسحوبة تكون مناسبة .

عندما تسمح الظروف يمكن أن يكون الشحن الأرضى مؤثر وطريقة جيدة للمحافظة على إمدادات المياه المناسبة بتكاليف مناسبة .

الحد من إقتحام المياه المالحة : Control of Salt Water Intrusion

إن تعظيم الاستخدام للمياه الجوفية ساعد على تحريك منطقة التلاقى بين المياه العذبة والمياه المالحة فى إتجاه البحر (Inland) وقريبا من سطح الأرض . كثيراً من المجتمعات التى ولجتها مشاكل تعدى المياه المالحة قامت بحفر آبار إنتاجية قرب البحر . حالياً تتم الجهود للمحافظة على منسوب المياه الجوفية وذلك بتغذية خط المياه الجوفية من خلال أحواض تصريف المياه بالتسرب أو مياه الأنهار لشحن الخزان الجوفى والمحافظة على ثبات خط المياه الإستاتيكي شكل (١٢/١٨- أ) وفى حالات أخرى أمكن للحد من إقتحام المياه المالحة بإنشاء آبار شحن جوفى عميقة حيث أمكن عمل حاجز من المياه الجوفية مسطحة مرتفع بما يكفى لمنع إقتحام المياه المالحة بما يمكن من الضخ أسفل منسوب سطح البحر لدخل اللباسة بالنسبة للحاجز شكل (١٢/١٨)

بـ) . فى بعض الحالات تستخدم آبار حجز قريباً من الشاطئ لجمع المياه المالحة وحث المياه للعذبة بالتحرك التدريجى نحو البحر شكل (١٨ / ١٢ - ج) وبهذا فإن استخدام آبار الحقن ولحوض الحقن وآبار الحجز مفيد جداً فى المحافظة على التدرج الهيدرولىكى المناسب بين المياه العذبة والمالحة .



شكل (١٨-١٢) أساليب الحد من لغحام المياه المالحة

ظلمبات سحب المياه الجوفية :

يستوقف اختيار النوع المناسب من للظلمبات على مقدار التصريف المطلوب سحبه من البئر وعلى مقدار عمق السحب .

عندما تكون المياه الجوفية قريبة من سطح الأرض بحوالى ٥ متر على الأكثر أى أن مقدار السحب الكلى فى حدود مئمة أمتار (بعد حساب عمق هبوط سطح المياه

والفوائد الناتجة عن الاحتكاك (. في هذه الحالة تبنى قاعدة خرسانية على سطح الأرض حيث تتركب عليها المضخة وتحاط بحجرة من المبانى توضع بها المحركات التى تديرها . الشكل رقم (١٩-١٢) يوضح التركيبات اللازمة لمضخة طاردة مركزية.

فى حالة زيادة البعد بين المياه الجوفية و سطح الأرض عن خمسة أمتار عندئذ توضع المضخة داخل بئارة (حجرة من المبانى تحت سطح الأرض) بحيث يكون البعد بين محورها و سطح للمياه الجوفية فى حدود خمسة أمتار .. أما فى حالة الحاجة إلى إنشاء بئارة على عمق يزيد عن سبعة أمتار من سطح الأرض فيتم استبعاد هذه الفكرة لصعوبة تنفيذها ولكثرة تكاليفها ويستخدم فى هذه الحالة الطلمبة الغاطسة وهى عبارة عن طلمبة طاردة مركزية توضع داخل مواسير البئر تتصل مرواح بماسورة السحب الموجودة داخل قيسون البئر وملتصق بالطلمبة المحرك حيث يتم الحصول على الطاقة الكهربائية للتشغيل من مصدر كهربى فوق سطح الأرض . وقد تتصل مرواح هذه الطلمبة بعامود إدارة ممتد حتى سطح الأرض والذي يتصل بالمحرك اللازم لإدارته شكل (٢٠-١٢). والعمود بكامل طوله يدور فى مركز ماسورة السحب الموجودة داخل قيسون البئر . عامور الإدارة يعمل على دوران المضخة الموجودة فى نهايته السفلى وبذلك ترتفع المياه داخل ماسورة السحب إلى مسافة تتراوح ما بين ١٥ - ٧٥ متر .

تحسب القوى المحركة للطلمبة مقدرة بالحصان الفرنساوى كالآتى :

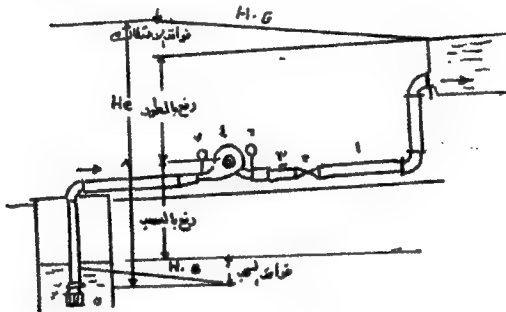
بمعلومية للتصرف باللتر فى الثانية (Q) وبمعلومية مقدار الرفع المانوميترى (He) والذى يساوى الرفع بالسحب + مقدار الرفع بالطرد + مقدار الفقد بالاحتكاك فى مواسير السحب والأكواع والمحابس عندئذ تكون القوة المحركة على عامود الطلمبة

$$\text{مقدرة بالحصان الفرنساوى} = \frac{Q \times He}{75}$$

حيث η كفاءة للطلمبة = ٠,٨ فى المتوسط

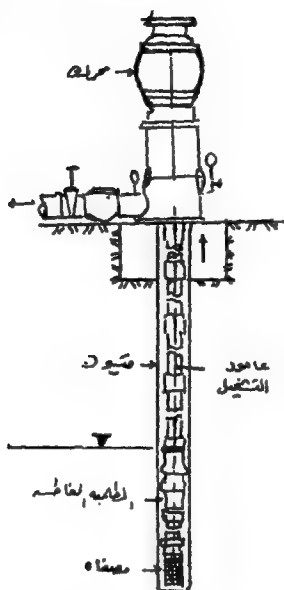
قوة المحرك الكهربى بالكيلوات = قوة الماكينة $\times 0,746$

وبالرجوع إلى كتالوج المنتج يمكن اختيار المضخة المناسبة للتصرف المطلوب



- ١- ماسورة الضغط
- ٢- محبس مكينة
- ٣- محبس ختم رجوع
- ٤- طلمبة طرد مركزي
- ٥- مصفاة (الفلتروس)
- ٦- ماتوميتر الضغط
- ٧- ماتوميتر المحبس
- ٨- ماسورة المحبس

شكل (١٩-١٢).



شكل (٢٠-١٢) للأنظمة الحلقية

المراجع :

- 1- Meinez, O. E (ed) , Hydrology , MCGraw - Hill
New york (1942) .
- 2- Ground Water and Wells , Johnson Division VOP.
St. Paul, Ninnnesota (1966) .
- 3- Ahrens, T.P., " Water Well Engineering " Water
Well Journal VIII (1 , 2) (1958) .
- 4- Publications of the American Water Works
Association (AWWA) .
- 5- Studies about Ground Water In Egypt Organized by
the Eqpvtian Society of Engineers (In 1998)

المحتويات

٤ مقدمة
٥ الفصل الأول : معلومات أساسية عن التربة والمياه الجوفية
٧	١ - خواص الصخور والتربة Rock And Soil
٧	■ تكوينات الصخور Rock Formations
١٠	■ تكوين التربة (Soilformation)
١٩	■ التربة المختلفة أو الباقية Residual Soils
١٠	■ خواص التربة Soil Properties
١١	■ التعرف على التربة والاختبارات الأساسية :
١٢	■ الاختبارات المعملية للتربة
١٢	■ التعيين المعملى لمتوسط الكثافة لحبيبات التربة
١٥	■ مكونات طمي الصلصال Clay Minerals (الطفلة)
١٦	■ نظم تقسيم للتربة: Soil Classification Systems:
١٦	■ النظم الأساسية للتكوين (Textural System)
١٨	٢ - تكوينات التربة الحاملة للمياه ووجود المياه الجوفية :
١٩	■ التكوينات الحاملة للمياه Water Bearing Formations
٢٣	■ الخزانات الجوفية المحصورة والغير محصورة
٢٦	■ وجود المياه الجوفية Ground Water occurance
٢٨	■ أشكال وجود المياه الجوفية Modes Of Ground Water Occurance
٣٠	٣ - نوعية المياه الجوفية GROUND Water Quality
٣١	■ تأثيرات الرسوبيات Precipitation Effects

٣٢.....	■ تأثير التربة والصخور
٣٣.....	■ عسر المياه الجوفية Hardness Of Ground Water
٣٤.....	■ الغازات المذابة Dissolved Gases
٣٤.....	■ أسباب وأثر التغير فى نوعية المياه الجوفية :
٣٥.....	■ الخواص الطبيعية للمياه الجوفية
٣٧.....	الفصل الثانى : استكشاف المياه الجوفية
٣٩.....	■ الخرائط
٤١.....	■ الصور الجوية Aerial Photographs
٤٠.....	■ الخرائط الهيدروكيميائية Geochemical Maps
٤١.....	■ أخذ عينات للتربة Formation Sampling
٤٤.....	■ طرق حفر بئر الاختبار وطرق أخذ العينات
٤٤.....	■ طريقة الدوران المباشر Direct Rotary Method
٤٥.....	■ أخذ العينات من أجناب الحفر Side Well Coring
٤٥.....	■ طريقة الحفر بالقيسون المزدوج Dual Wall Method
٤٦.....	■ الحفر بالبريمة Auger Drilling
٤٧.....	■ طريقة الاستكشاف للجيوفيزيائية Geophysical Exploration Methods
٤٧.....	■ طرق الاستكشاف السطحي Surface Geophysical Methods
٤٩.....	■ الاستكشاف بالموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Surveys
٥٠.....	■ طريقة المقاومة الكهربائية Electrical Resistivity Method
٥٥.....	الفصل الثالث : المناخ الهيدرولوجى
٥٨.....	■ الإطار الهيدرولوجى Hydrological Framework

- خزان جوفى النيل..... ٥٨
- خزان جوفى للحجر الرملى النوبى ٥٩
- خزان جوفى المغرب Moghra Aquifer ٦٢
- الخزان الجوفى للساحلى Coastal Aquifer ٦٢
- خزان جوفى للكربونات..... ٦٥
- خزان جوفى للصخور الصلبة ٦٥
- نوعية المياه الجوفية وتلوثها بمناطق الإطماء والتخوم ٦٦
- نوعية المياه الجوفية فى مناطق الإطماء للنيل والأجناب ٦٧
- أنواع المياه الجوفية فى الدلتا ٦٧
- المؤثرات على المياه الجوفية Ground Water Vulnerability ٦٨
- الأنشطة بفعل الإنسان..... ٦٩
- تنمية المياه الجوفية ٧٠
- الخواص الكيمائية..... ٧٠
- **الفصل الرابع : كيمياء المياه الجوفية**..... ٧٣
- كيمياء المياه الجوفية..... ٧٥
- أصل المكونات الكيماوية للمياه الجوفية : ٧٥
- وحدات القياس Units Of Measure ٧٧
- بعض الخواص الهامة للمياه ٧٩
- العسر Hardness..... ٧٩
- التوصيل الكهربي النوعى ٨١

- تركيز أيون الهيدروجين ٨٢
- تغير محتوى للمياه الجوفية من الأيونات خلال الوقت ٨٤
- مكونات المياه الجوفية ٨٥
- الحديد ٨٦
- المنجنيز ٨٨
- السيليكا ٨٨
- الصوديوم ٨٩
- الكلوريد ٩٠
- الفلوريد ٩٠
- النترات ٩١
- الكبريتات ٩٢
- الغازات المذابة ٩٣
- الأكسجين المذاب ٩٣
- كبريتيد الهيدروجين ٩٤
- ثاني أكسيد الكبريت ٩٤
- الذرات المشعة Radionuclides ٩٥
- البورون Boron ٩٦
- نوعية المياه Water Quality ٩٦
- الاستخدام الصناعي ٩٧
- الاستخدام الزراعي ٩٩

■ وحدات القياس Units of Measure ١٠٤

الفصل الخامس : طرق حفر الآبار ١٠٥

■ طريقة الحفر بالكابل : Cable Drilling Method ١٠٧

■ الحفر الدوار المباشر (الحفر المحوري) Direct Rotary Drilling ١١٠

■ سوائل الحفر : ١١٢

■ الحفر العكسي بالهواء Inverse drilling ١١٥

■ الحفر بالبنق (النتفخ) Jet Drilling ١١٥

■ ١- الطريقة اليدوية ١١٨

■ ٢- طريقة لحفر بالدق ١١٩

■ تفويص الآبار ١٢٠

■ الآبار ذات الأقطار الكبيرة ١٢٠

■ تفويص الآبار ذات الأقطار الكبيرة ١٢٠

■ الآبار ذات المواسير ١٢٢

■ الآبار ذات القيسون ١٢٣

الفصل السادس : هيدروليكا البئر الجوفى ١٢٥

■ مقارنة كمية بين المياه الجوفية والسطحية : ١٢٧

■ مبادئ هيدرولوجية ١٢٧

■ التربة لحاملة المياه الجوفية أو الخزان الجوفى ١٢٩

■ للنفاذية Permeability ١٣٠

■ حساب للنتفخ الكلى ١٣٣

١٣٥	■ هيدروليكا البئر الجوفى
١٣٥	■ طبيعة للتدفق من التربة
١٣٦	■ أنماط الانخفاض Cones Of Depression
١٣٩	■ تعريف المصطلحات
١٣٩	■ منسوب الضخ Pumping Level
١٤٠	■ الانخفاض Draw down
١٤٠	■ الانخفاض المتبقى Residual Draw Down
١٤٠	■ إنتاجية البئر Well Yield
١٤٠	■ الطاقة النوعية Specific Capacity
١٤١	■ نصف القطر المؤثر Raduls Of Influence
١٤١	■ معامل التخزين Coefficient Of Storage (-S)
١٤١	■ معامل الانتقال Coefficient Of Transmissivity (t)
١٤٢	■ السحب من مخزون المياه Water Supplied From Storage
١٤٥	■ الفصل السابع : حالات الاستقرار والتغير فى معدلات الضخ
١٤٧	■ معادلات لتزان البئر Equilibrium Well Formulas
١٤٩	■ تعيين النفاذية (للتوصيل الهيدروليكي) للخران الجوفى :
١٥١	■ علاقة قطر البئر بإنتاجيته
١٥١	■ علاقة الانخفاض بالإنتاجية Relation Of Drawdown To Yield
١٥٣	■ معادلة عدم إيزان البئر Non Equilibrium Well Equation
١٥٨	■ الانتقال Transmissivity

- معامل التخزين Coefficient Of Storage ١٥٩
- تقدير الإنخفاض من شكل الوقت - الإنخفاض : ١٦٠
- الظروف الجيولوجية التي تؤثر على مخطط الإنخفاض - الوقت : ١٦١
- إعادة الشحن من نهر Recharge From River ١٦٥
- إعادة الشحن بالتسرب للرأسي Recharge From Vertical Percolation ١٦٦
- أثر ميل خط المياه Effect Of a Sloping Water Table ١٦٧
- الكشف عن تأثيرات الشحن Detecting Recharge Effects ١٦٧
- الحدود الصماء Impervious Boundaries ١٦٨
- مسافة مخطط الإنخفاض Distance Drawdown Diagram ١٦٩
- معامل التخزين : Coefficient Of Storage ١٧٣
- الاستخدامات الأخرى لمخططات الإنخفاض - المسافة ١٧٤
- تقييم تأثيرات التدخل Evaluating Interference Effects ١٧٦
- الفصل الثامن : عوامل التصميم للآبار ١٧٩**
- عوامل التصميم للآبار : Design Factors ١٨١
- موجز لعوامل التصميم التي تسبب زيادة الإنخفاض ١٨١
- عوامل الإنشاء ١٨١
- نصف القطر للمؤثر Radius Of Influence ١٨١
- حالات الإتزان Equilibrium Conditions ١٨٢
- الاستخدام المزدوج للمخططات شبه لوغاريتمية Combined use Of Semilog ١٨٣
- Graphs ١٨٣

١٨٥	تأثير الإختراق الجزئى Effect of Partial Penetration
١٨٧	إستخدام بيانات إستعادة منسوب المياه
١٩٥	Determining Storage Coefficient تعيين معامل التخزين
١٩٨	الخلاصة
١٩٩	الفصل التاسع : تصميم بئر المياه
٢٠١	تصميم بئر المياه
٢٠٢	قطر البئر (قطر القيسون - Casing Diameter)
٢٠٤	عمق البئر Well Depth
٢٠٥	طول مصفاة البئر Well Screen Length
٢٠٥	الخرانات الجوفية الارتوازية المتجانسة (المحصورة)
٢٠٥	Stratified Artesian Aquifers مخزان جوفى محصور مكون من طبقات
٢٠٦	الخرانات الجوفية الغير محصورة والمتجانسة
٢٠٨	الخران الجوفى الغير محصور والغير متجانس (مكون من طبقات)
٢٠٨	فتحات مصفاة البئر Well Screen Slot Openings
٢٠٩	قطر الحبيبات على ألف من البوصة
٢١٠	الخرانات الجوفية الغير متجانسة توجد بكثرة فى الطبيعة : Stratified
٢١٦	قطر مصفاة البئر Well Screen Diameter
٢١٩	المساحة المفتوحة
٢٢٢	Screen Transmitting Capacity إمكانيات النقل للمصفاة
٢٢٤	Selection Of Material إختيار مادة الصنع للمصفاة

٢٢٥	■ الحالات التالية توضح الظروف العدوانية للمياه
٢٢٦	■ المياه التي تحدث ترسيبات Incrusting water
٢٢٧	■ قوة المصفاة screen strength
٢٢٩	■ تصميم التحشية الزلزلية (الظهير الزلزلى) Gravel Pack Design
٢٣٠	■ التربة ذات الطبقات الغير متجانسة
٢٣٠	■ مراحل تصميم للظهير الزلزلى للمصفاة : Gravel Pack Graduation
٢٣٥	■ تثبيت التربة Formation Stabilizer
٢٣٦	■ وضع مثبت للتربة Placing Formation Stabilizer
٢٣٧	■ تصميم الآبار الصغيرة Design of Small Wells
٢٣٨	■ التصميم للحماية من التلوث Sanitary Protection Design For
٢٤٤	■ السحب الآمن من للخران الجوفى الساحلى
٢٤٧	■ الفصل العاشر : مصافى الآبار وطرق تحليل حبيبات التربة
٢٤٩	■ وظيفة مصفاة البئر
٢٥٠	■ أنواع المصافى
٢٥٥	■ دليل المصفاة أو مقمة المصفاة Well Points
٢٥٥	■ أقصى مساحة مقترحة للمصفاة
٢٥٦	■ تحليل قطر حبيبات التربة Sediment Size Analysis
٢٥٧	■ عمل تحليل المنخل
٢٦٠	■ منحني توزيع قطر الحبيبات

الفصل الحادى عشر :

٢٦٢..... تنمية الآبار- اختبارات الضخ- الإصلاح والصيانة

- ٢٦٥..... Development of Water Wells تنمية آبار المياه
- ٢٦٥..... تنمية للبئر بالطرق المختلفة.
- ٢٦٨..... Air Development By Surging Pumping التنمية بالهواء بالضغط وللضخ
- ٢٦٨..... High Velocity Jetting التنمية بالثقب عالى السرعة
- ٢٧١..... جمع وتحليل بيانات اختبار للضخ
- ٢٧٢..... عمل اختبار الضخ
- ٢٧٣..... المحافظة على ثبات التصريف
- ٢٧٣..... الطرق المباشرة للقياس
- ٢٧٣..... الأوعية والعدادات لقياس التصريف للبئر
- ٢٧٣..... قياس الانخفاض فى الآبار
- ٢٧٧..... بيانات الاستعادة
- ٢٧٧..... Well Efficiency كفاءة البئر
- ٢٧٩..... تحديد اتجاه حركة المياه الجوفية الحرة
- ٢٨٠..... الصيانة والإصلاح للبئر
- ٢٨٢..... الأسباب الرئيسية لخفض كفاءة البئر
- ٢٨٤..... معالجة ومنع مشاكل الترسبات
- ٢٨٥..... معالجة الآبار بالأحماض
- ٢٨٥..... حامض الهيدروكلوريك

- حامض السلفاميك ٢٨٦
- استخدام الأحماض فى معالجة الآبار ٢٩٠
- الطرق الكيميائية للقضاء على بكتريا الحديد ٢٩٣
- البولى فوسفيت ومؤثرات السطح polyphosphatesAndsurfactants ٢٩٥
- تلف البئر بسبب التآكل ٢٩٦

الفصل الثانى عشر : الإستخدامات البديلة للآبار ومصافى الآبار ٢٩٧

- سحب المياه الجوفية Dewatering ٢٩٩
- تعيين خصائص الخزان الجوفى ٢٩٩
- معادلات سحب المياه الجوفية Dewatering Equations ٣٠٠
- سحب المياه بنقط الآبار (نظام الحراب) ٣٠٣
- عمل قمع الإنخفاض المناسب ٣٠٤
- إستخدام الحراب فى الإمداد بالمياه ٣٠٨
- مصافى التجميع الأفقية Infiltration Galleries ٣٠٨
- تصميم مصافى التجميع الأفقية أسفل المصدر المائى ٣١١
- وضع مصافى التجميع بمحاذاة شاطئ المصدر المائى ٣١٣
- آبار التجميع Collection Well ٣١٦
- آبار الحقن Injection Wells ٣١٧
- آبار الحقن للإمداد بالمياه Recharge Wells for Water Supply ٣١٨
- الآثار البيئية للشحن الجوفى Enviromental Effects of Recharge ٣٢٢
- الحد من إقتحام المياه المالحة Control of Salt Water Intrusion ٣٢٣
- طلبات سحب المياه الجوفية ٣٢٤

إن إنتاج المياه الجوفية يعتبر كمورد إضافي لتلبية الحاجة نظرا المحدودية المرونة المالية وذلك لتلبية متطلبات التوسع الزراعي وخطط التنمية والأعاشة لإحتياجات الزيادة المستمرة في عدد السكان .. ونظرا لندره الإصدارات العربية في مجال المياه الجوفية فقد تم إعداد هذا المرجع لتحقيق الاستفادة لكل المهتمين باستعمالات المياه .. وقد يتم إعداد هذا المرجع في ١٢ فصل هي كالتالي :

- ١- خواص التربة الحاملة للمياه الجوفية .
- ٢- طرق استكشاف المياه الجوفية .
- ٣- المناخ الهيدرولوجي لمصر .
- ٤- كيمياء المياه الجوفية .
- ٥- طرق حفر الآبار .
- ٦- هيدروليكا البئر الجوفي .
- ٧- حالات الاستقرار والتغير في معدلات الصخر .
- ٨- عوامل تصميم الآبار .
- ٩- تصميم بئر المياه .
- ١٠- مصافى الآبار وطرق تحليل حبيبات التربة .
- ١١- تنمية الآبار والإصلاح والصيانة .
- ١٢- الاستخدامات البديلة للآبار ومصافى الآبار .

بعد أن يكون تم تناول جميع التقنيات الخاصة بإنتاج المياه الجوفية والله من وراء القصد ،

الناشر



دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

٥ شارع الشيخ ربحان - عابدين - القاهرة

٧٩٥٤٢٢٩ ☎

e-mail sbh@link.net

I.S.B.N 977-287-298-6